



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE  
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

# MONTOVANÉ OCELOVÉ NÁDRŽE

ASSEMBLED STEEL TANKS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

JIŘÍ KONEČNÝ

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. PETR MARCIÁN, Ph.D.

BRNO 2014



Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky

Akademický rok: 2013/2014

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Jiří Konečný

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### **Montované ocelové nádrže**

v anglickém jazyce:

### **Assembled Steel Tanks**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Problematika práce je z oblasti montovaných nádrží a zásobníků, které slouží k uchovávání například sypkých materiálů, kukuřice, obilí nebo tekutých látek přičemž nádrže jsou vyrobeny z materiálu odolávajícímu agresivnímu prostředí apod. Tyto nádrže mají specifické nároky na výrobu. Jedná se o tělesa poměrně rozměrná, složená z montovaných plechů.

Cíle bakalářské práce:

1. Provedení rešerše dostupné literatury související s řešenou problematikou nádrží.
2. Popis jednotlivých prvků a montáže nádrží.
3. Vytvoření modelu geometrie vybrané části nádrže.
4. Vytvoření výpočtového modelu.
5. Provedení řešení a analýzy výpočtového modelu a výsledků řešení.

Seznam odborné literatury:

- [1] Shigley, E. Konstruování strojních součástí, VUTIUM, 2010, ISBN 978-80-214-2629-0
- [2] Janíček P., Florian Z.: Mechanika těles – pružnost a pevnost I., VUT Brno, CERM s.r.o. Brno, ISBN 978-80-214-4122-4
- [3] Ondráček E., Vrbka J., Janíček P.: Mechanika těles – pružnost a pevnost II., VUT Brno, CERM s.r.o. Brno, ISBN 80-214-2214-9

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Petr Marcián, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014.

V Brně, dne 18.11.2013

L.S.

---

prof. Ing. Jindřich Petruška, CSc.  
Ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
Děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou z oblasti šroubovaných ocelových nádrží, které tvoří nezanedbatelný podíl nádrží z celkového počtu všech typů nádrží. V první části této práce je zmíněná krátká historie šroubovaných ocelových nádrží, výrobci těchto nádrží a hlavní normy a standarty, kterými se řídí výpočet a realizace nejen těchto nádrží. V další části této práce jsou vypsány různé segmenty a hlavní díly šroubovaných ocelových nádrží. Dále následuje krátký popis montáže. V poslední části je popsána tvorba výpočtového modelu jedné z používaných střech ve výpočtovém programu ANSYS a následně provedena deformačně napěťová analýza pro zatížení sněhem dle normy v různých sněhových oblastech pro různé MKP model jak na 2D, tak na 3D úrovni.

### **Klíčová slova**

montované ocelové nádrže, šroubový spoj, MKP, zatížení sněhem, Shell181, ANSYS

## **ABSTRACT**

This thesis deals with the area of bolted steel tanks, which constitute a significant share of the total number of tanks of all types of tanks. In the first part of this thesis is mentioned short history of bolted steel tanks, tanks producers and major standards and standards governing the calculation and realization not only these tanks. In the next part of this thesis mentions the various segments and major parts of bolted steel tanks. This is followed by a short description of the assembling. The last section describes the creation of a computer model of roofs used in simulation program ANSYS and subsequently performed stress-strain analysis for snow loads according to various snow areas for different FEM model in the 2D and 3D levels.

### **Key words**

assembled steel tanks, bolted connection, FEM, snow load, Shell181, ANSYS



## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

KONEČNÝ, Jiří. *Montované ocelové nádrže*. Brno 2014. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky. 79 s. Ing. Petr Marcián Ph.D.





## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Montované ocelové nádrže** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

---

Datum

---

Jiří Konečný



## **PODĚKOVÁNÍ:**

Děkuji tímto Ing Petru Marciánovi, Ph.D. za cenné připomínky, rady a pomoc při vypracování této bakalářské práce. Stejně tak děkuji všem, se kterými jsem vedl rozhovory využité k napsání této práce. Jsou to absolutní špičky svého oboru, které mi poskytly velmi hodnotné a důležité informace. Velký dík patří celé mé rodině a kamarádům za dlouhodobou podporu.



## OBSAH

ÚVOD.....	1
1.1 Historie.....	2
1.2 Firmy zabývající se ocelovými šroubovanými nádržemi.....	3
1.2.a Zahraniční .....	3
1.2.b České.....	3
1.3 Jiné alternativy nádrží .....	4
1.3.a Betonové: .....	4
1.3.b Svařované: .....	5
1.3.c Nýtované.....	5
1.4 Popis problémové situace:.....	6
1.5 Normy a standardy .....	7
1.5.a Výpočtové normy [12].....	7
1.5.b Systémové standardy .....	7
2 Typy uskladňovacích nádrží a sil dle použití.....	9
2.1 Sila pro skladování různých medií.....	9
2.2 Požární nádrže (Sprinklery) .....	11
2.3 Nádrže pro bioplynové stanice (BPS).....	14
2.4 Nádrže na kejdu.....	15
2.5 Nádrže pro čističky odpadních vod (ČOV).....	17
2.6 Nádrže na ostatní specifická media.....	19
3 Rozdělení z technologického hlediska.....	20
3.1 Podle okolního prostředí: .....	20
3.2 Podle způsobu kotvení: .....	20
3.3 Podle provedení dna.....	20
3.4 Podle typu střechy: .....	20
3.5 Podle zateplení: .....	20
3.6 Podle povrchové úpravy materiálu: .....	20
3.7 Podle způsobu montáže:.....	20
3.8 Možnosti dopravení na střechu: .....	20
4 Popis Hlavních dílů, konstrukce nádrží .....	21
4.1 Plášťové plechy:.....	21
4.2 Šroubový spoj: .....	22
4.3 Krytky: .....	23
4.4 Tmel: .....	24

4.5	Revizní otvor:	25
4.6	Výztuhy pláště	26
4.7	Kotvení	27
4.7.a	Kotvení na „startovací segment“:	27
4.7.b	Do betonu pomocí kotevního úhelníku:	28
4.7.c	Kotvení do drážky:	28
4.7.d	Žebřík:	28
4.8	Střechy:	29
4.8.a	Bez střechy (OTEVŘENÉ)	29
4.8.b	Se střechou	30
4.9	Šroubový zvedák	35
4.10	Převodovka	36
5	Popis montáže nádrží	37
6	Shrnutí	39
6.1	Havárie	39
7	Metody řešení:	41
8	Výpočtový model Membránové střechy	43
8.1	Model geometrie	43
8.2	Model materiálu	45
8.3	Model zatížení a vazeb	45
8.4	MKP model	48
9	Prezentace a analýza výsledků	51
9.1	Zatížení vlastní vahou:	51
9.2	Zatížení sněhem ve městě Brno dle normy:	52
9.3	Zatížení sněhem ve městě Mosty u Jablunkova dle normy:	56
10	Závěr	59
11	Seznam použitých zdrojů	61
12	Seznam použitých obrázků a tabulek	65
12.1	Seznam obrázků	65
12.2	Seznam tabulek	66

## ÚVOD

Pod pojmem montované ocelové nádrže rozumíme spojování převážně lakovaných nebo smaltovaných ocelových plechů pomocí šroubového spoje. Šroubový spoj se skládá z dříkovaného žárově zinkovaného šroubu s plastovou hlavou, pozinkované podložky a pozinkované korunové matice, velikost spoje ( $\varnothing$  šroubu a jeho délka) se odvíjí podle požadovaných nosných vlastností. Hlavní výhodou šroubového spoje je jeho možná rozebíratelnost, tj. že výrobky se dají snadno rozšířit opravit nebo rozebrat a následně opět postavit a to vše bez poškození finální nádrže.

Samotná nádrž a její konstrukce a montáž se odvíjí převážně od způsobu použití. Plechy mají z pravidla stejné obvodové rozměry, mění se pouze jejich tloušťka v závislosti na počtu lubů (nejnižší lub má defakto vždy největší tloušťku, protože je nevíce namáhán), tuto tloušťku stanovuje vždy konstruktér nebo statik, dle pevnostních výpočtů a analýz, svých znalostí a zkušeností. Tyto plechy jsou k sobě vždy spojeny mechanicky (šroubový spoj) a chemicko-adhezivně (tmel).

Samotná nádrž se po montáži (nebo v jejím průběhu) musí napojit na zbývajících potřebné technologie, aby byla zajištěna plná funkčnost a použití. Každá nádrž se řídí předem určenými mnohaletými standardy a normami, které je nutno dodržet. Každá firma produkující tyto výrobky mají převážně mimo jiné alespoň ISO 9001.

## 1.1 Historie

Z archeologických ruin a starých textů je zřejmé, že první člověkem vytvořené nádoby, sila, existovaly již ve starověkém Řecku již v 8. století před naším letopočtem, byly hliněná a velmi malá. Termín silo je odvozen z řeckého Siros (σιρός) a význam je: V boxy pro držení zrna (OBR 1)'' [2].

Ovšem první zdokumentované dřevěné a vzpřímené silo bylo postaveno v roce 1873 Fredem Hatchem v Illinois, USA. Přesně 20 let po té, tedy roku 1893 byla založena *Columbian Steel Tank Company* [1] ve městě Kansas, která začala vyrábět nádrže z oceli. Teprve až v roce 1916 tato firma představila šroubované ocelové nádrže, které byly určeny pro uskladňování ropy. Z toho vyplývá, že technologie šroubovaných ocelových nádrží je stará zhruba 100 let, ale příliš se od této doby výrazně nezměnila, největší důraz se klade na vývoj a výzkum nových povrchů plechů, mechanické vlastnosti plechů a technologie usnadňující samotnou montáž.



Obrázek 1 Starověké řecké vázy [2]



## 1.2 Firmy zabývající se ocelovými šroubovanými nádržemi

V současné době je na světovém trhu jenom zhruba stovka firem, které se touto problematikou zabývají, výrobců je však jenom pár desítek. Některé z nich se zaměřují pouze na jeden segment, jiné se zabývají více segmenty. Díky tuzemské levnější pracovní síle a opravdu vysoké kvalitě technologie výroby a zkušenostem české firmy stále častěji vyvážejí a staví své nádrže nejen v česku, ale po celé Evropě s kvalitou srovnatelnou, nebo vyšší se zahraničními výrobci.

### 1.2.a Zahraniční

Jak již bylo zmíněno, jako první začala vyrábět šroubované nádrže americká firma Columbian Steel Tank Company (CST) [3], která v dnešní době patří pod firmu CST Industries, Inc , a o nádrže se stará její divize CST Storage. Na evropském trhu jsou velkými výrobci německá OmeraStore GmbH [4] a ve Velké Británii firmy Permastore limited [5] a Franklin Hodge Industries Limited [6].

### 1.2.b České

První ocelovou šroubovanou nádrž postavila na území tehdejšího Československa v listopadu roku 1966 ostravská firma Vítkovice s dnešním názvem Vítkovice Power Engineering a.s. [7], která použila technologii velmi podobnou technologii firmy CST. Firma Vítkovice používá smaltované ocelové plechy a v dnešní době už se zabývá převážně nádržemi pro ČOV, BPS a silami.

Dalším výrobcem na českém trhu je firma Kohimex spol. s r. o. [8], která vznikla v roce 2000 a zabývá se převážnou většinou segmentů v tomto odvětví. Plechy používá zároveň pozinkované ocelové, se speciálním vypalovacím nástřikem.

### 1.3 Jiné alternativy nádrží

#### 1.3.a Betonové:

Na rozdíl od šroubovaných nádrží se je možné u nádrží z betonu (obrázek 2) i podzemní provedení. Jejich hlavní výhodou je pevná a robustní konstrukce. To je však vykompenzováno velkým problémem s náročnou recyklací betonu při ukončení životnosti a likvidaci stavby. Jedná se o nenadstavitelnou a nerozebíratelnou nádrž, u níž je velmi složitá doprava potřebného stavebního materiálu a v případě nepotřebnosti velmi složitá demontáž a likvidace.



Obrázek 2 Betonové silo [9]

### 1.3.b Svařované:

Hlavní výhodou svařovaných nádrží (obrázek 3) je, že pro tento typ nádrží nepotřebujeme žádný spojovací materiál. Je zde daleko jednodušší pevnostní výpočet, provedení i výroba. Největší nevýhodou svařovaných nádrží je, že je potřeba vysoce kvalifikovaných pracovníků a velmi zdoluhavá a komplikovaná montáž oproti šroubovaným nádržím. Jedná se taktéž o nerozebíratelnou nádrž, která je velmi náročná na finální povrchové úpravy, a to nejen svárů.



Obrázek 3 Svařovaná nádrž [10]

### 1.3.c Nýtované

V dnešní době téměř nepoužívané nýtované nádrže, de facto přímo nahradily nádrže šroubované. Jelikož nýtované neměly oproti nim skoro žádnou velkou technologickou výhodu (ovšem lepší manipulace je se šroubem než s nýty). Tato metoda byla velmi složitá a technologicky náročná.



Obrázek 4 Ukázka nýtovaného spoje [11]

#### **1.4 Popis problémové situace:**

Důvodem k napsání této bakalářské práce byl dle mého názoru nedostatek informací týkající se tohoto tématu z běžných zdrojů. Výrobci těchto nádrží sice na svých internetových stránkách uvádějí některé informace či fotky, ale každý zde logicky prezentuje pouze svůj segment nebo pouze své používané díly. Nikde jsem však nenašel žádný článek, či publikaci, která by informace o těchto nádržích nějak souhrnně vysvětlila, či shrnula. Nádrží tohoto typu oproti jiným typům nádrží enormně přibývá a tak si myslím, že je vhodné jisté informace objasnit a shrnout.

Tato bakalářská práce je rešeršního charakteru, jejíž cílem je doplnění určitých pojmů z problematiky šroubovaných ocelových nádrží a provedení deformačně napěťové analýzy jednoho typu střechy těchto nádrží.

Dílčím problémem řešeném v této bakalářské práci je výpočtové modelování pomocí metody konečných prvků (MKP) vybrané části šroubované nádrže.

#### **Cíle, kterých má být dosaženo:**

1. Provedení rešerše dostupné literatury související s řešenou problematikou nádrží.
2. Popis jednotlivých prvků a montáže nádrží.
3. Vytvoření modelu geometrie vybrané části nádrže.
4. Vytvoření výpočtového modelu.
5. Provedení řešení a analýzy výpočtového modelu a výsledků řešení.

## 1.5 Normy a standardy

Návrh konstrukce a výroba se řídí normami a standardy uvedenými pro ukázkou níže.

### 1.5.a Výpočtové normy [12]

ČSN EN 1990 Zásady navrhování

ČSN EN 1991-1-1 Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užité zatížení pozemních staveb

ČSN EN 1991-1-3 Obecná zatížení – Zatížení sněhem

ČSN EN 1991-1-4 Obecná zatížení – Zatížení větrem 1993

ČSN EN 1993-4-2 Navrhování ocelových konstrukcí-Nádrže

ČSN EN 1090-1, 2 Provádění ocelových a hliníkových konstrukcí

### 1.5.b Systémové standardy

**FM approved (Factory mutual) 1835**

FM global je mezinárodní certifikační organizace, která vydává standardy pro pojištění majetku na základě inženýrských analýz a výpočtů, pro některé sprinklerové nádrže je vyžadován tento standart[ 13].

**NFPA (National fire protection association) 1896**

Jedná se o americké obchodní sdružení, které je odpovědné za 30 zákonů a norem, které jsou navrženy tak, aby minimalizovali účinky požárů a jiných nebezpečí. Tento standart se používá i pro nádrže na vodu určené pro soukromou ochranu proti ohni [14].

**VdS (Vertrauen durch Sicherheit)**

mezinárodní certifikační organizace pro prevenci požárů a dalších rizik včetně ochrany proti nežádoucímu průniku. [15]

**AWWA(American Water Works Association) 1881**

Největší vědecká nezisková asociace, která má za úkol správu a upravování vody, věnuje se zlepšení zdraví a ochrany životního prostředí [16].

**API (American Petroleum Institute)**

Jedná se o organizaci, která vydává standardy pro navrhování, provoz a údržbu činnosti pro skladování ropy a nádrží na ropu [17].

**SMK (Systém managementu kvality)**

Jedná se o normu, která specifikuje požadavky na systém managementu kvality v organizacích, které chtějí a potřebují prokázat svoji schopnost trvale poskytovat produkty v souladu s příslušnými předpisy a požadavky zákazníků, a které usilují o zvyšování spokojenosti zákazníka. Pro stavbu šroubovaných nádrží je vyžadována minimálně ISO 9001[18].





## 2 TYPY USKLADŇOVACÍCH NÁDRŽÍ A SIL DLE POUŽITÍ

### 2.1 Sila pro skladování různých medií

Silážní věže tvoří největší podíl šroubovaných ocelových nádrží. Jedná se o rozměrově větší nadzemní nádrže, u nichž je typickým znakem to, že jejich výška je mnohem větší než jejich průměr. Celé silo musí být vždy hermeticky uzavřeno, aby nedošlo ke smíchání siláže s venkovním vzduchem, což by mohlo vést ke znehodnocení požadovaných vlastností media. Povrch zásobníku musí být schopný odolávat velmi agresivnímu prostředí. Před prvním naplněním se vždy musí provést zkoušky plynatosti, tj. ověřit si, že nádrž je skutečně schopna být hermeticky uzavřená.

- **Kukuřice a obilí**

Jedná se o nejčastější medium sil (obrázek 5), jako konzervant zde slouží  $\text{CO}_2$  spolu s kyselinou mléčnou, které si vytváří samotné medium a zlepšuje kvalitu media. Na střeše musí být kontrolní otvor, pojistné přetlakové potrubí, podtlakové ventily, otvor pro plnění a napojení na vyrovnávací vaky  $\text{CO}_2$ . Nádrž musí být také vybavena přístupovým žebříkem s ochranným košem a odpočívadly nebo výtahem. Ve spodní části nad výsypkou je umístěn revizní otvor. „Výsypka je v podzemní části nerezová, v nadzemní části betonová. Vyústíje do šnekového dopravníku, který vybírá zrno a navazuje na krmící případně míchací linku. Šnekový dopravník je opatřený ventilem s ručním nebo automatickým uzavíráním, který zabraňuje přístupu vzduchu. [19].“ Barva sil je nejvhodnější bílá, protože nedochází k přehřívání skladovaného média vlivem slunečního záření, ale bývá převážně hnědá, jelikož sila jsou montována především na farmách nebo v areálech, kde je prašnost a velké množství nečistot.



Obrázek 5 Silo

- **Sypké materiály**

Tyto zásobníky (obrázek 6) jsou méně časté a slouží k uskladnění různých materiálů jako například: cement, popílek, PVC granuláty, piliny ze dřeva atd. Vyžadují rovněž hermetické uzavření, ale nejsou určeny pro potravinářský průmysl. Silo musí rovněž mít revizní a kontrolní otvor, pojistné přetlakové potrubí, otvor pro plnění a přístupové žebříky s ochranným košem nebo výtah. Ostatní technologie se volí podle přání zákazníka nebo investora. Barva se zde volí opět podle prostředí, v cementárnách světlé barvy, v prašných industriálních areálech opět barvy tmavší.



**Obrázek 6 Nádrže na cement a popílek**



## 2.2 Požární nádrže (Sprinklery)

Jedná se o převážně nadzemní nádrže, častěji známé jako Sprinklerové nádrže (obrázek 7, 8, 9, 10), které slouží k akumulaci pohotovostní zásoby požární vody v obchodních centrech, logistických centrech a průmyslových zónách. Tyto nádrže mohou být jak venkovní, tak vnitřní a jejich výška nijak extra rozměrově nepřesahuje jejich průměr. Hlavní požadovaná vlastnost nádrže je její voděodolnost a nepropustnost. Dno je vždy z betonu a může se zde navíc použít také vodotěsná folie, pokud máme obavy, že podkladový beton není zcela kvalitní (nepropustný). Nejčastěji se nádrž kotví ke startovacímu segmentu, je však možno kotvit i ke kotevnímu úhelníku. Každá nádrž musí mít revizní otvor jak na spodní straně nádrže, tak na střeše. Každá nádrž musí dále mít žebřík s ochranným košem, střechu se sklonem 2-5 cm s žárově zinkovanými nosníky a trapézovou střechou, větrací hlavice, topná tělesa a přepad nádrže.

Nádrž jako taková, aby mohla fungovat, musí být vždy propojena k ostatním částem a technologiemi sprinklerových trubek.

Barva nádrže se většinou volí v barevném provedení haly, pro kterou je určena. Proti zamrzání je možno použít tepelnou izolaci. Před uvedením do provozu se vždy musí provádět zkoušky těsnosti, kde se zjišťuje, zda je nádrž opravdu nepropustná, opačném případě se musí zajistit nejvhodnější způsob jak tento problém odstranit, tj. najít příčinu a řešení. Nejčastěji tento problém vzniká kvůli špatnému podkladovému betonu a je nutno použít folii (obr 9), která nedokonalé dno utěsní.



Obrázek 7 Sprinklerová nádrž s izolací v barvě haly



**Obrázek 8 Různé možnosti barevného provedení plechů Sprinklerové nádrže**



**Obrázek 9 Dno sprinklerové nádrže s folii**



**Obrázek 10 Rozestavěná sprinklerová atypická čtvercová nádrž**



Výroba energie z obnovitelných zdrojů je v současné době velký *bum* a velká změna v energetické politice západních států. „*Díky vládním podporám a garancím výkupních cen energie jde o vysoce bezpečnou a rentabilní investici.* [20].“ Nynější podíl elektrické energie získané z bioplynu na celkové množství elektrické energie získané z obnovitelných tvoří zhruba 10%

Výroba bioplynu probíhá v BPS (obrázek 12), jejichž hlavní části jsou fermentor a plynojem. Jedná se o velkoobjemové nádrže, jejichž průměr je viditelně větší než-li jejich výška. Fermentor je nádrž, kde se zředěná a rozmělněná organická masa promíchává a zahřívá na teplotu kolem 40 °C, za vzniku rozkladných procesů a bioplynu. Bioplyn je poté odváděn do již zmíněného plynojemu, kde se čistí a dále upravuje. Každá nádrž musí být hermeticky uzavřená. Používají se 4 druhy střech, ocelová šroubovaná, půlkulatá, střecha na sloupu anebo střecha s integrovaným plynojemem. Tyto BPS se kotví pomocí kotvícího úhelníku k podkladovému betonu. Každý zásobník musí mít revizní otvor. Pro dobrou tepelnou izolaci a tím i větší účinnost v zimním období se doporučuje fermentor zaizolovat nebo částečně zapustit do země.



Obrázek 12 Bioplynová stanice v Hůžově [22]

## 2.4 Nádrže na kejdu

*„Kejda je částečně prokvašená směs pevných a tekutých výkalů hospodářských zvířat zředěná vodou. Podle původu se může jednat o kejdu skotu, prasat a drůbeže. Kejda vzniká v bezstelivových provozech.*

*Důležitým kvalitativním znakem kejdy je obsah sušiny. U kejdy skotu a prasat je žádoucí obsah sušiny od 7,5 do 15 %, u drůbeže od 15 do 20 %. Organické látky tvoří asi 70 až 80 % sušiny.[23]“<sup>1</sup>*

Jedná se o velkoobjemové nádrže (obrázek 13,14), jejichž průměr je viditelně větší, než-li jejich výška, průměr se pohybuje mezi 4- 50 metry. Povrch musí být schopný odolávat velmi agresivnímu prostředí. Tento typ nádrží může být buď bez střechy, nebo s PVC střechou. Dno je betonové a zásobník se k němu kotví pomocí kotevního úhelníku. Na nádrži opět musí být osazen revizní otvor. K plnění a vybírání nádrže se používají kalová čerpadla a k homogenizaci slouží ponorné míchadlo. Dále by nádrž měla mít výpustní hrdlo, přepadové potrubí a žebřík s plošinou. Tyto nádrže se neizolují. Lze je částečně zapustit do země.

<sup>1</sup> Citace

[http://web2.mendelu.cz/af\\_221\\_multitext/vyziva\\_rostlin/html/hnojiva/kejda.htm](http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/html/hnojiva/kejda.htm)



**Obrázek 13 Nádrž na kejdu s kuželovou PVC střechou**



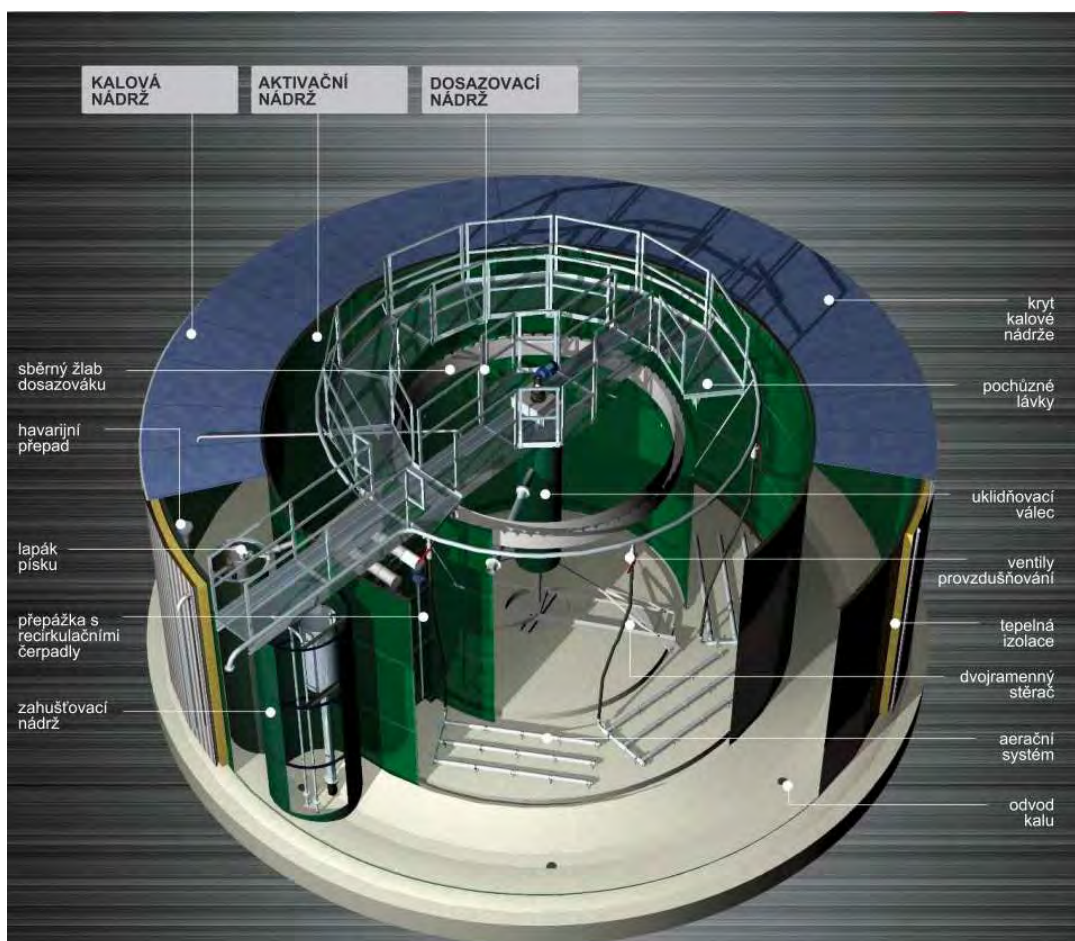
**Obrázek 14 Nádrž na kejdu s polokulatou střechou**



## 2.5 Nádrže pro čističky odpadních vod (ČOV)

ČOV (obrázek 16), jak je zřejmé z názvu jsou určeny k čištění odpadních vod z obcí, potravinářského, zemědělského a chemického průmyslu a následně je možno tuto vodu opět vrátit zpátky do oběhu nebo přírody. Tato vyčištěná voda musí ovšem splňovat přísné požadované ekonomické parametry. Proces čištění probíhá na principu dokonalého mechanického předčištění a následném biologickém čištění dlouhodobou aktivací a stabilizací usazenin. Díky nitrifikaci a denitrifikaci lze docílit odstranění organických látek spolu s velkým snížením sloučenin dusíku s velkou efektivitou.

Tyto nádrže mohou mít různý poměr výšky k šířce, tzn. u některých převažuje jejich šířka, podobně jako u nádrží na kejdu, u jiných je výška srovnatelná s průměrem a řadí se podle stupně požadovaného pracovního výkonu. Tyto nádrže jsou velmi specifické a atypické oproti ostatním šroubovaným ocelovým nádržím, jak svojí vizáží, tak i technologiemi. ČOV je tzv. trojnádrž tj. skládá se ze tří nádrží, tj. z kalové, aktivací a dosazovací, tyto nádrže jsou osazeny jedna v druhé, jak můžeme vidět na obrázku 15



Obrázek 15 Biologická trojnádrž [24]

Kalová nádrž je rozdělena na prostor primární sedimentace a prostor akumulace kalu a má ve dně 6-8 výustí pro postupný odvod kalu. Tato nádrž musí být vždy zakrytá. V aktivační nádrži probíhají již zmíněné procesy nitrifikace, denitrifikace popřípadě i regenerace. Dosazovací nádrž má vyspárované dno, stírané dvouramenným stěračem, ze spodu nádrže je umístěno potrubí pro odtah kalu. Dosazovací nádrž má výstužný prstenec, na němž je umístěn sběrný žlab, který má za úkol odčerpat vyčištěnou vodu.



**Obrázek 16 ČOV v Heřmanicích [25]**



## 2.6 Nádrže na ostatní specifická media

Jedná se o zbylý segment nádrží, který zahrnuje zbylá media, které se vyskytují převážně v chemickém a potravinářském průmyslu. U těchto nádrží se klade velký důraz na požadované vlastnosti media, a také na integraci mezi nádrží a médiem. Pro potravinářský průmysl musí být zaručeno, aby vše bylo zdravotně nezávadné, tmel a povrch nádrží nesmí mít žádný negativní vliv na medium. Dále nás také vždy zajímá i to, aby i medium nemělo negativní vliv na veškeré díly a prvky nádrže. Pevně se jedná o tmel, žárově zinkované díly a plášť. Většinou se však tyto nádrže příliš konstrukčně neliší od již zmíněných typů nádrží. Šroubované ocelové nádrže se defakto dají použít na téměř všechna media, avšak musíme zohlednit a promyslet veškeré detaily, jako např. dostatečné uzemnění nádrží pro tekavé látky, vhodné barevné provedení nádrží, z důvodu možného nežádoucího tepelného ohřevu pláště. Například v případě chovu ryb, se musí obzvláště zvážit vhodný odstín v závislosti na chování ryb. Taktéž některé firmy nabízejí bazény ze starších, již jednou použitých plechů, ovšem vzhledem k dnešnímu velkému cenovému rozdílu mezi plastovými bazény a bazény z ocelových plechů, o tyto bazény není téměř žádný zájem oproti minulých letem. Provedení technologií a střeš je individuální, dle požadavků media.

### **3 ROZDĚLENÍ Z TECHNOLOGICKÉHO HLEDISKA**

#### **3.1 Podle okolního prostředí:**

- Venkovní
- Vnitřní

#### **3.2 Podle způsobu kotvení:**

- Kotvení na „startovací segment“
- Do betonu pomocí kotevního úhelníku
- Kotvení do drážky
- Na nohách

#### **3.3 Podle provedení dna**

- Dno z vodo-stavebního betonu
- Betonové dno s folii
- Trychtýřové betonové dno
- Ocelové šroubované dno
- Ocelové svařované dno

#### **3.4 Podle typu střechy:**

- Bez střechy (OTEVŘENÉ)
- Se střechou
  - Kuželová
  - S trapézovou střechou
  - Membránová
  - Laminátová
  - PVC (plachty)

#### **3.5 Podle zateplení:**

- Bez zateplení
- Se zateplením

#### **3.6 Podle povrchové úpravy materiálu:**

- Ocelové plechy s nátěrem
- Smaltované
- Speciální epoxidové vypalovací nástřiky

#### **3.7 Podle způsobu montáže:**

- Od základu
- Od střechy
- Bez strojní manipulace
- Manipulace pomocí jeřábu

#### **3.8 Možnosti dopravení na střechu:**

- Žebřík
- Schodiště
- Výtah

## 4 POPIS HLAVNÍCH DÍLŮ, KONSTRUKCE NÁDRŽÍ

Jedná se o díly, které se objevují v převážné většině typů nádrží nebo jsou vyžadovány k její montáži.

### 4.1 Plášťové plechy:

Rozměry těchto plechů (obrázek 17, 18), tj. výšku a šířku, má každá firma různě, avšak tloušťky plechů musí být navrženy dle platných norem EN 1991-4-3 a standardů řady EC 1990, EC 1991, EC 1993. Plechy musí mít vždy nějakou povrchovou úpravu, která musí být schopna odolávat konkrétnímu médiu. Jako povrchová úprava se nejčastěji používají smalt, epoxidový nástrík.



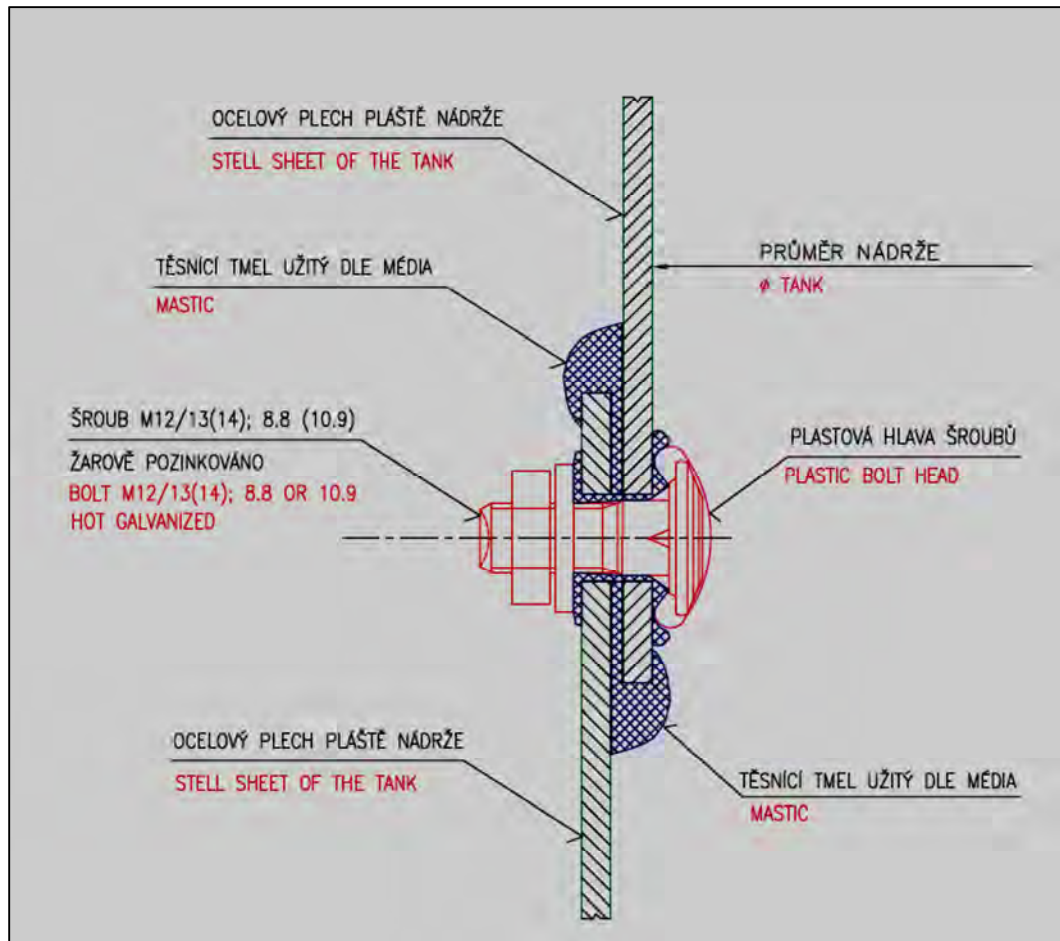
Obrázek 17 jednotlivé plášťové plechy



Obrázek 18 Nedokončený plášť

#### 4.2 Šroubový spoj:

Šroubový spoj (obrázek 19, 20) se skládá z žárově pozinkovaných šroubů, matice i podložky. Nejmenší možná třída pevnosti šroubu může být na nosné prvky použita 8.8. Hlava šroubu je vždy uvnitř nádrže, jedná se o půlkulatou hlavu, na které je natavena umělohmotná (plastová) vrstva. Spoj se utahuje rázovým utahovákem. Doporučený utahovací moment je 40-60Nm. Spoj může být jednořadý nebo víceřadý, hustý nebo řídký.



Obrázek 19 Screen šroubového spoje



**Obrázek 20 Dvouřadý řídký spoj bez krytek**

#### **4.3 Krytky:**

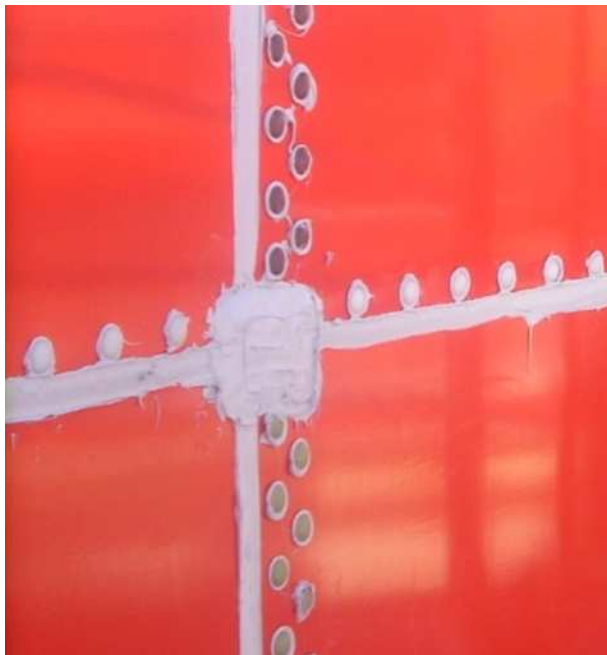
Krytky (obrázek 21) slouží k tomu, aby ochránily šroubový spoj proti působení atmosférických vlivů a zároveň také z bezpečnostního hlediska (např. aby nedošlo k zachycení za oděv). Tyto krytky se z estetických důvodů také používají převážně v barvě nádrže.



**Obrázek 21 Dvouřadý spoj s krytkami**

#### 4.4 Tmel:

Tmel (obrázek 22) je aplikován na jeden díl (nejčastěji plášťový plech) a k němu je přitisknut protikus. Následně jsou tyto dva díly vždy pevně spojeny šroubovým spojem. Veškeré stykové plochy na nádrži se musí nejdříve podtmelit, než je k sobě přišroubujeme. Hlavní funkce tmelu je umožnit těsnost nádrži, tzn., že plní funkci těsnění. Pro montáž se používají výhradně speciální tmely, převážně silikonové nebo polyuretanové. Jsou určeny pouze pro použití na nádrže a jeho barvy jsou dostupné v pestré škále, převážně však v barvě nádrže, nebo naopak v barvě s ní kontrastující.



**Obrázek 22 Křížový spoj**



#### 4.5 Revizní otvor:

Jedná se o díl, který se nachází v 90% všech nádrží. Tento díl se montuje na vnější stranu pláště, do speciálně vyřezaného otvoru v plechu a zajistí se šrouby. Revizní otvor se skládá z rámu a víka. Víko je k rámu taktéž připevněno šrouby. Revizním otvorem (obrázek 23,24) se provádí kontrola nádrží, montáž, demontáž technologií atd.



Obrázek 23 Otevřený revizní otvor



Obrázek 24 revizní otvor s víkem

#### 4.6 Výztuhy pláště

Existují svislé (obrázek 25) a vodorovné (obrázek 26) výztuhy pláště. Svislé výztuhy se používají hlavně zvýšení pro tuhosti spodní části nádrže.

Vodorovné výztuhy se naopak používají ve vrchní části nádrže a jejich hlavní funkce je, aby smontované luby nádrže (plášťové obvodové plechy) měly co nejvíce kruhový tvar.



Obrázek 25 Vodorovné obvodové výztuhy



Obrázek 26 Možné provedení svislých výztuh



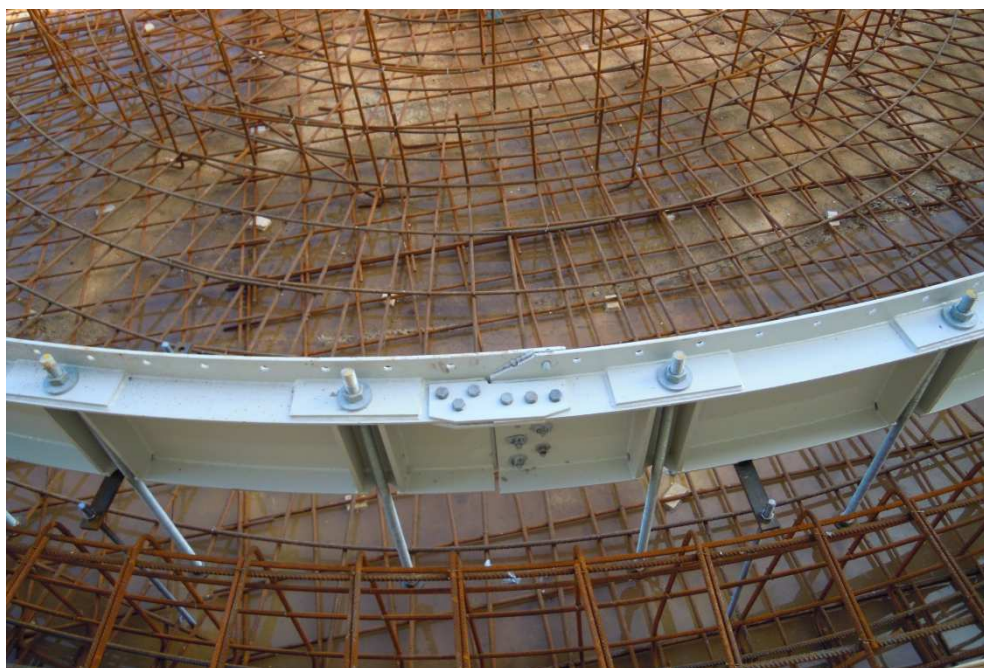
## 4.7 Kotvení

### 4.7.a Kotvení na „startovací segment“:

Jedná se o nejčastější způsob kotvení protipožárních nádrží. Princip je v tom, že v ocelových výztužích betonu (armaturách) se vynechá drážka (obrázek 27), do níž se na závitové tyče namontuje tento segment (úhelník) a velmi přesně se zniveluje. Dále se závitové tyče, výztuhy betonu i část segmentu (obrázek 28) zalije betonem. Tento segment má v horní části na sobě otvory, které odpovídají děrám na plechu. Po dokončení nádrže se nádrž sešroubuje ke startovacímu segmentu.



Obrázek 27 Vynechaná drážka v ocelových výztužích



Obrázek 28 Nezabetonovaný startovací segment

#### 4.7.b Do betonu pomocí kotevního úhelníku:

Jednotlivé úhelníky se přišroubují na nejspodnější plech nádrže. Tento úhelník (obrázek 29) se umístí na speciální nivelační podložky a přišroubuje se pomocí mechanických a chemických kotev k podkladovému betonu. Vzduchová mezera mezi úhelníkem a betonem se vyplní z vnější strany speciálním tmelem nebo zálivkou a z vnitřní strany se zalije speciálním rychlotuhnoucí směsí to výšky zhruba 15cm.



Obrázek 29 Kotevní úhelník

#### 4.7.c Kotvení do drážky:

Jedná se o obdobu kotvení pomocí úhelníku, ale úhelník je vsazen do předem vytvořené drážky v betonu, opět ukotven a zalit speciální rychlotuhnoucí směsí. Jedná se o složitější technologii, která sice zaručuje lepší utěsnění nádrže, ovšem jsou s tím spojené i větší náklady na stavbu.

#### 4.7.d Žebřík:

Jedná se o nejjednodušší alternativu, jak umožnit přístup na střechu, a to z důvodu nejčastěji revize nebo jiné pracovní činnosti. Se žebříkem se musí konstrukčně počítat předem, protože se montuje spolu s obvodovým pláštěm, díry pro úchyty žebříku lze vyrábět montážně, tj vrtáním. Každý žebřík musí mít z bezpečnostního hlediska speciální ochranný koš. Dalšími alternativy místo žebříku může být výtah, ten je však velmi konstrukčně složitý a finančně nákladný.



#### 4.8 Střechy:

Střecha je zajisté jeden z nejdůležitějších a nejsložitějších prvků šroubovaných ocelových nádrží. Nejdůležitější je zvolit správný typ střechy, který bude nejvhodnější pro danou nádrž. Téměř u všech nádrží je střecha vyžadována z důvodu ochrany buď media (atmosférické vlivy), nebo naopak okolí vůči vlivům media (chemické látky, nelibá vůně apod.). Střecha je též nemalou položkou v ceně celkové nádrže, tudíž i z tohoto hlediska musíme vhodný výběr typu zohlednit. Rozměr střechy se samozřejmě odvíjí od průměru nádrže, tloušťka a sklon od již zmíněné pevnostní analýzy. Na některé střechy se též mohou umístit technologie potřebné pro plné využití nádrže (hadice na regulaci CO<sub>2</sub>, kontrolní otvory, otvor pro plnění, plošina). Taktéž, pokud se nádrž přemísťuje jeřábem je možno na její konec umístit oka pro jeřáb. Jednotlivé díly ocelových střech se opět šroubují k sobě pomocí šroubů a zakrývají krytkami. Střecha musí být vždy kvalitně připojena k obvodovému plášti, a to buď pomocí výztužných úhelníků, nosníků, nebo speciálních přitlačných pásků.

##### 4.8.a Bez střechy (OTEVŘENÉ)

Jedná se o provedení nádrže, které nevyžaduje zakrytí (obrázek 30) a následnou ochranu media proti vnějším vlivům, nebo naopak ochranu okolí proti účinkům media. Tento typ se nejčastěji používá pro nádrže na kejdu a ČOV.

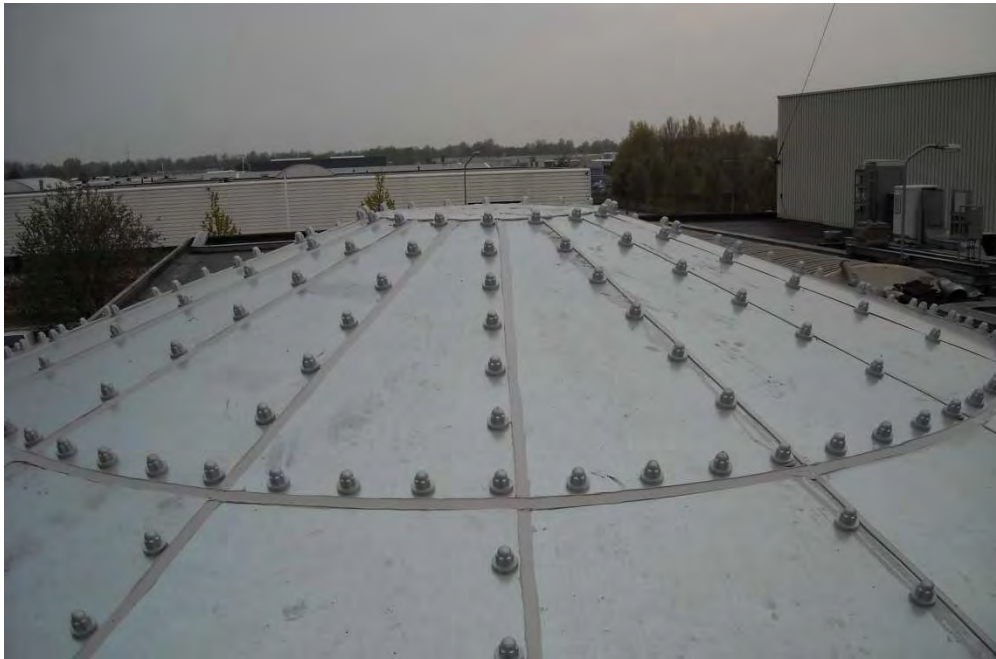


Obrázek 30 Nádrž na kejdu bez střechy

#### 4.8.b Se střechou

- **Kuželová**

Jedná se o ocelovou střechu (obrázek 31,32), která je vyztužena speciálními výztuhami a získala svůj název podle svého tvaru. Tato střecha se používá převážně u nádrží, u kterých vyžadujeme hermetičnost a zároveň chceme, aby plyny vytvářející u skladovaného media, nezůstávaly u okrajů střechy. Jedná se o velmi složité provedení střechy, a to jak konstrukčně, tak i pevnostně.



Obrázek 31 Kuželová střecha



Obrázek 32 Kuželová střecha s izolací

- **S trapézovou střechou**

Tento typ střech (obrázek 33, 34) se používá převážně u nádrží pro skladování různých kapalin (sprinklerové nádrže a pod). Jedná o střechu, která je opět do tvaru kužele, ale na rozdíl od klasické kuželové, jenom velmi nepatrně (max.  $10^\circ$ ). Tato střecha se skládá z nosníků, které jsou připevněny k plášti, a trapézových plechů. Tyto 2 díly jsou k sobě připevněny speciálními samovrtnými šrouby TEX, které se vrtají přímo na nosníky nebo výztuhy s důrazem na to, aby se jednotlivé trapézové plechy vždy překrývaly. Tloušťky trapézového plechu se nejčastěji používají od 0,85-1,2mm, dle požadované nosnosti. Tento typ střechy lze též zaizolovat a její barevné provedení je ve většině případů v pozinkovaném, nebo aluzikovaném provedení.



**Obrázek 33 Nosníky trapézové střechys výstuhami**



**Obrázek 34 Trapézový plech položený na nosníku**



- **Membránová**

Jedná se ocelovou samonosnou, volně zavěšenou střechu (obrázek 35), která je připevněna pouze k lemu obvodového pláště a k výstužnému úhelníku, tj. nosným prvkem nejsou žádné nosníky, ani žádné vnitřní výztuhy. Zajímavostí je, že tato střecha má také kuželový tvar, ovšem vrchol kužele nesměruje ven z nádrže, ale do ní. Ve středu této nádrže je umístěn otvor pro odtok dešťové vody. Jedná se o poměrně nové a velmi zajímavé provedení typu střech, který se používá převážně pro sprinklerové nádrže. Střecha se skládá z ocelových plechů, které jsou uspořádány do jedné, nebo více řad. Pokud je pouze jedna řada, mají tvar připomínající trojúhelník, který má základnu zakruženou do požadovaného poloměru nádrže a ta je přišroubována k obvodové výztuze pláště. V případě více řad, má vnitřní řada opět trojúhelníkový tvar, zbylé řady mají tvar lichoběžníku, který má vnitřní a vnější stranu skruženou do určitého poloměru tloušťky plechů. Plechy jsou voleny dle zkušeností a hlavně výpočtů, zpravidla **1,5-3mm**.



**Obrázek 35 Sprinkler s membránovou střechou**

- **Laminátová**

Jedná se o možné provedení střechy (obrázek 36) pro čističky odpadních vod. Ve větší míře se v České republice staví až v posledních letech. Největší význam má zakrytí nádrží proto, že díky čerání vzduchem a míchadly uniká velké množství nebezpečných aerosolů, které mohou vážně poškodit zdraví nejen obsluhy, ale i obyvatel v okolí čistírny, protože jsou při silném větru zanášeny až několik kilometrů daleko [26].“



**Obrázek 36 Laminátová střecha [27]**

- **PVC (plachty)**

Jedná se o střechy (obrázek 37,38) z PES textilie, které jsou potažené PVC a to z obou dvou stran. Hmotnost těchto plachet je  $1100\text{g/m}^2$ , což je daleko méně, než u ocelových střech. Tyto střechy jsou odolné vůči všem druhům medií a taky i UV. Vyrábí se ve dvou provedeních, kuželovitá a ve tvaru polokoule. Tlak na povrchu těchto střech se mění podle media, např. kuželovitá střecha ( $23^\circ$ - $32^\circ$ ) umožňuje provozní tlak do 5mbar, se střední skladovací kapacitou. Většinou se tyto střechy dělají jako 2 membránové (vnitřní a vnější). Vnitřní slouží k hermetickému uzavření. Tlak v mezi-membránovém prostoru (mezi vnější a vnitřní membránou) se přenáší přes vnitřní membránu na bioplyn. Vnitřní část membrány se pohybuje v různých výškách v závislosti na stavu naplnění plynojem, ale vnější část díky přetlaku drží ve stabilním tvaru. Nevýhodou těchto střech je nutnost sloupů, upínacích tyčí a lanových systémů. Jelikož jsou vyráběny v jednom kuse, montují se po dokončení (zakotvení) pláště pomocí jeřábů [28].





**Obrázek 37 Kuželový tvar PVC střechy**

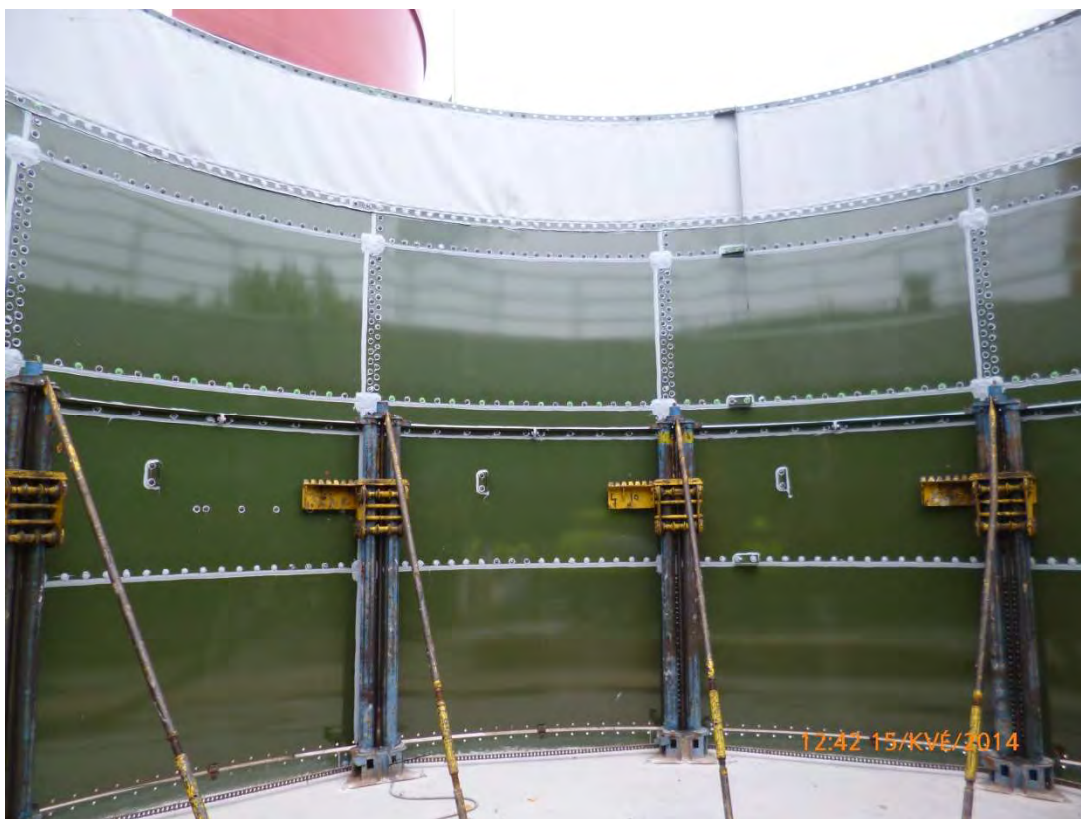


**Obrázek 38 PVC střecha ve tvaru polokoule**

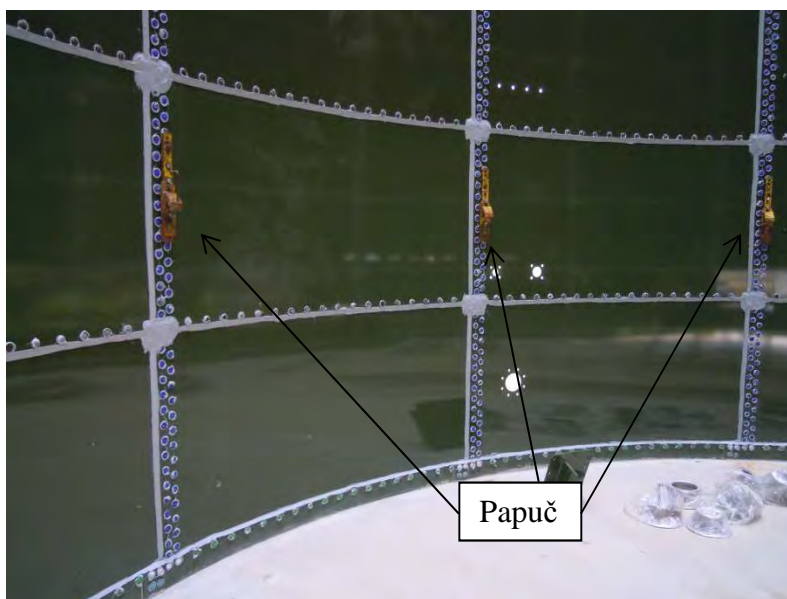


#### 4.9 Šroubový zvedák

Jedná se o součást (obrázek 39), která se používá pouze při montáži/demontáži nádrží, přesněji k jejímu zvedání a spouštění, tj po dokončení nádrže se demontuje. Šroubový zvedák se vždy kotví na přesně určené místo nádrže, převážně vždy jeden k svislému šroubovému spoji pláště. Zvedák se skládá z ozubených koleček, které jsou napojeny pomocí řetězu na převodovku, lichoběžníkové závitové tyče, která je uložena v ložiscích a napojena na ozubená kola a ze speciální matice s hřebenem, která se pohybuje pouze ve svislém směru. Hřeben je napojen pomocí tvarového styku na tzv. „papuče“ (obrázek 40), který je vždy dočasně přišroubován k nádrži a má k hřebeni negativní tvar. Zvedák je schopný zvednout nádrž pouze o jednu řadu, poté se musí papuče demontovat a přišroubovat o jednu řadu níže. Každý zvedák musí být před zahájením montáže zkontrolován, namazán a zavětrován. Každá firma si vyrábí své zvedáky individuálně nebo si je nechávají dělat na zakázku.



Obrázek 39 Šroubové zvedáky



Obrázek 40 „Papuč“

#### 4.10 Převodovka

Jedná se o prvek, který stejně jako zvedáky slouží pouze k montáži nádrže. Jedná se o klasickou převodovku (obrázek 41), jejíž hlavní části jsou motor, ozubená kola, kostra a ovládací prvek, který nám umožňuje otáčet motorem oběma směry. Základní rozdělení pro montáž je rychlost otáčení, tj. existují převodovky do „rychla“ a do „pomala“. Převodovky do „rychla“ se používají pro malé nosnosti (malé nádrže jak do výšky tak šířky). Převodovky do „pomala“ se používají převážně pro silná a velkoobjemová nádrže. Převodovka se kotví k základu pomocí speciálních kotev. Výkon převodovek se pohybuje kolem 3-6 kW.

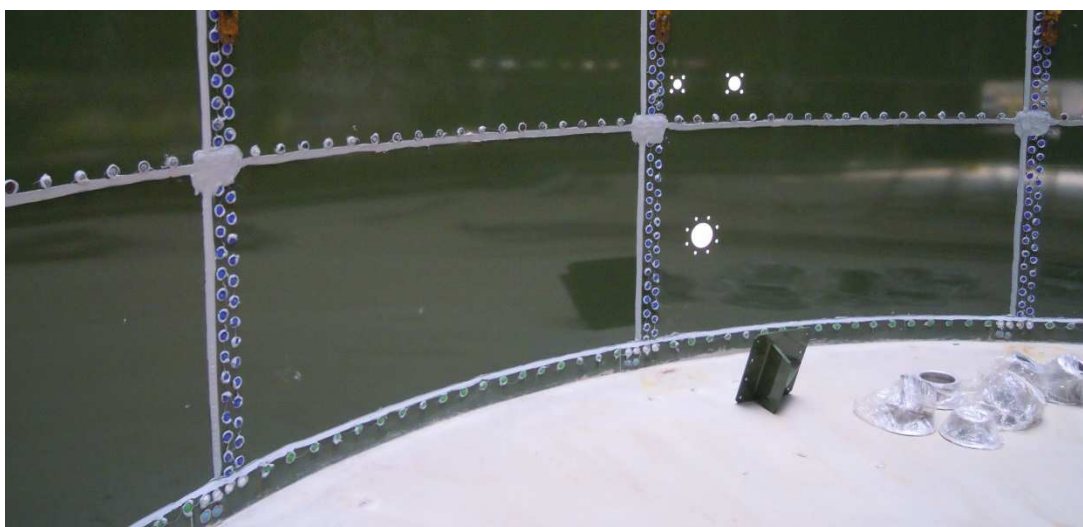


Obrázek 41 Převodovka

## 5 POPIS MONTÁŽE NÁDRŽÍ

Jedná se o obecný postup montáže pro téměř všechny typy nádrží.

- Vždy před zahájením montáže je nutno zkontrolovat kvalitu a rovinnost podkladové části, zpravidla se jedná o beton. Pokud se jedná o nádrž s kotvením do startovacího segmentu, je nutno též zkontrolovat, zda je výška betonu dostatečně nízko pod díry pro šrouby. Montáž může začít až po vytvrdnutí podkladového betonu.
- Nejdříve je nutno uložit jednotlivé díly nádrže do montážní zóny, tj. zohlednit pořadí montáže jednotlivých dílů. Existují dva základní typy montáže, tj. od horní řady (střechy) pomocí zvedacích mechanismů nebo od spodního plechu. Metoda stavby od spodní řady se používá minimálně, jelikož se plášťové plechy musí zdvihat do velkých výšek, což je velmi namáhavé a ne zcela bezpečné, navíc nejsložitější část nádrže (střecha), se montuje ve vysokých výškách velmi složitě. (Lze tedy předpokládat, že nádrž montujeme pomocí mechanismů.)
- V dalším kroku se připraví zvedací souprava (převodovku, řetěz a zvedáky). Počet zvedacích mechanismů se řídí průměrem nádrže a váhou nádrže. Zvedáky přikotvíme mechanickými kotvami k betonu a pomocí vodováhy se zkontrolujeme, zda nejsou vyoseny. Pokud se zjistí, že ano, musí se pomocí speciálních nivelačních podložek zajistit, aby byly v rovině.
- Nyní si rozložíme první řadu plechů (horní řada) okolo zvedáků. Plechy jsou navzájem přeplátovány a styčné plochy jsou opatřeny souvislou vrstvou tmelu. **VEŠKERÉ STYČNÉ PLOCHY SE MUSÍ VŽDY PODTMELIT.** Vnitřní hrana plechů je ještě navíc přetmelena souvislou rovnoměrnou vrstvou tmele (obrázek 42), která zajistí těsnost nádrže i při zatížení nádrže v naplněném stavu.



Obrázek 42 Přetmelené vnitřní hrany nádrže

- Na takto smontovanou první řadu plechů (horní řada nádrže) je dále šroubován zároveň pozinkovaný střešní výztužný úhelník se spojkami, dle typu nádrže.

- **V dalším kroku následuje montáž střechy:**

Na ocelové střechy se v převážné většině montují i plošiny s napojením na žebřík, nebo jiné technologie.

**U trapézových střech** se nejprve na obvodový plech do předem určených míst namontují nosníky a výztuhy, na které se poté přichytí pomocí TEX šroubů trapézové plechy. Následně je ořezán přesah trapézových plechů na rovnoměrný rádius kopírující tvar nádrže.

Montáž **kuželové střechy** začíná tak, že se její středový kruhový díl položí na čtvercové mobilní lešení nebo vzpěru určené výšky a spojí se obvodovým pláštěm výztuhami profilu Z. Na podtmelené výztuhy se dřikovými šrouby přišroubují střešní plechy. Montáž kuželové střechy trvá déle než montáž trapézové střechy.

**Membránová střecha** se montuje vždy od krajního střešního plechu, jehož styčná plocha se opět podtmelí a přišroubuje k obvodovému úhelníku. Stejným způsobem se přichytí i střešní plechy, které jsou blíže středu.

**PVC střechy**, jak již bylo zmíněno, se montují jeřábem až po zakotvení nádrže.

- **Po dokončení montáže střechy se pokračuje v montáži nádrže.**

Na horní řadu obvodových plechů následuje postupné přikládání plechů druhé řady stejným postupem jako u řady první. Následuje montáž třetí až X-té řady nádrže. Zároveň s pláštěm nádrže se montuje výstupový žebřík s ochranným košem.

- Po dokončení montáže obvodového pláště nádrží je potřeba nádrž zakotvit a jak již bylo zmíněno, lze kotvit na startovací segment, na úhelník, nebo do drážky.

- **Prostupy pláštěm nádrže a potrubí nádrže:**

Přednostně jsou otvory přes plášťové plechy nádrže zhotovovány na základě projektu dílensky před jejich povrchovou ochranou. Není-li dokumentace, podle které je možno otvory zhotovit na dílně, jsou otvory mimořádně vyřezávány a vrtány přímo na stavbě. Taktéž lze otvory vyřezat a vrtat přímo na stavbě v případě změn, vždy však musíme zajistit dostatečnou povrchovou úpravu upravených dílů.

- **Izolace nádrže:**

Po provedení zkoušky těsnosti nádrže je možno provést montáž izolace.



## 6 SHRNU TÍ

Jak již bylo zmíněno, provedení a technologie šroubovaných ocelových nádrží je téma staré něco kolem sta let. Od této doby se její provedení příliš nezměnilo, to je zřejmě způsobeno tím, že původní nádrže byly velmi dobře zkonstruovány. Je to jistě dáno i tím, že šroubový spoj jako takový, má velmi jednoduchý princip, tj má malou pravděpodobnost poruchy nebo jiného selhání. Pokud se řídíme předepsanými standardy a potřebnými normami, vše by mělo bez problémů fungovat do konce životnosti těchto nádrží. Tato životnost je dána převážně stářím, tj kvalitou povrchového materiálu, zkorodováním šroubů nebo jiných dílů a pohybuje se kolem desítky let. Je nutné mít ovšem na paměti, že tyto nádrže musí podléhat pravidelným revizím, a to v periodě určené firmou, která montáž prováděla. Revize provádějí buď sami výrobci nebo firmy, které se těmito revizemi zabývají. Revize nebo jakoukoliv opravu (úpravu) **nesmí provádět nikdo, kdo k tomu nemá potřebnou kvalifikaci nebo oprávnění**. Vždy musíme dodržovat určitá pravidla a předpisy spojené s bezpečností práce. Pokud chceme nádrž nadstavovat nebo opravovat, musí být zpracován konkrétní projekt schválený statikem.

### 6.1 Havárie

Pokud je rekonstrukce prováděna nahodilým a ne dostatečně kontrolovaným způsobem, (výměna šroubů z hlediska jejich umístění proběhla nahodile), může to dopadnout, jak vidíme na obrázku 43 u zborcené věže s hnojivem, která připomíná deformovanou plechovku.



Obrázek 43 Zřícená věž s hnojivem [29]

Tato tragická havárie se stala v říjnu 2008 v Omlenici. Zde vyteklo milion litrů dusíkatého hnojiva a při havárii zemřeli 2 dělníci. I když se jedná o ojedinělou havárii, měli bychom mít na paměti, že i při neúmyslném zanedbání určitých předpisů a pravidel může být ohrožen i lidský život [29], [30].

Taktéž může problém vzniknout při neodborné, nebo nedostatečně důsledné montáži, tato chyba se většinou zjistí při zkoušce těsnosti. Další možností havárie se může projevit v důsledku nedodržení skladovacích předpisů. Zanedbání těchto doporučení může vést k neočekávatelnému chování média (obrázek 44), (různá tepelná roztažnost, tvorba klenby, zvýšení tlaků v nádrži). Tato na první pohled nevýznamná doporučení a předpisy můžou mít podobný důsledek, který jsme viděli na předchozím obrázku.



**Obrázek 44 Zaklembované bortící se silo**

Jak bylo zmíněno v úvodu, každá firma má své nádrže odstupňované dle kapacitních řad, a dalo by se tedy říci, že v závislosti na objemu, tj. počtu řad a plechů v řadě, mohou být 2 nádrže (stejného průměru a stejného počtu řad) totožné. Musíme však zohlednit i místo, kde bude nádrž montována. Pro tyto případy musíme dle norem zohlednit např. i zatížení sněhem a větrem. Jedná se však pouze o doporučené zatížení, které bývá převážně vyšší, než je skutečná hodnota zatížení a může se lišit až o 40% [31].



## 7 METODY ŘEŠENÍ:

Pro řešení tohoto problému je možno použít analytické řešení, ovšem, jelikož se jedná a velmi konstrukčně složitý problém, je vhodnější použít výpočtové modelování. Modely z oblasti řešení problémů, lze mimo jiné, rozdělit na dílčí modely geometrie, materiálu, vazeb a zatížení. Nejčastěji využívanou metodou pro řešení obdobných problémů je metoda konečných prvků (MKP). Metoda konečných prvků je v současnosti implementovaná v řadě výpočtových komerčních systémů (např.: ANSYS, ABAQUS). K řešení problémů v této práci byl použit software ANSYS [32], INVENTOR [33], AUTOCAD [34], SOLIDWORKS [35], jehož licence je k dispozici na ÚMTMB [36]. ANSYS patří mezi nejrozšířenější a nejpoužívanější MKP systémy v ČR. Celý systém obsahuje také řadu užitečných nástrojů pro tvorbu modelu geometrie a MKP sítě. Software umožňuje efektivním způsobem zadávat okrajové podmínky a také umožňuje provádět analýzy na vysoké úrovni.

Výpočtový model, jak již bylo zmíněno, se skládá ze 4 dílčích modelů:

- modelu geometrie
- modelu materiálu
- modelu zatížení a vazeb
- modelu MKP

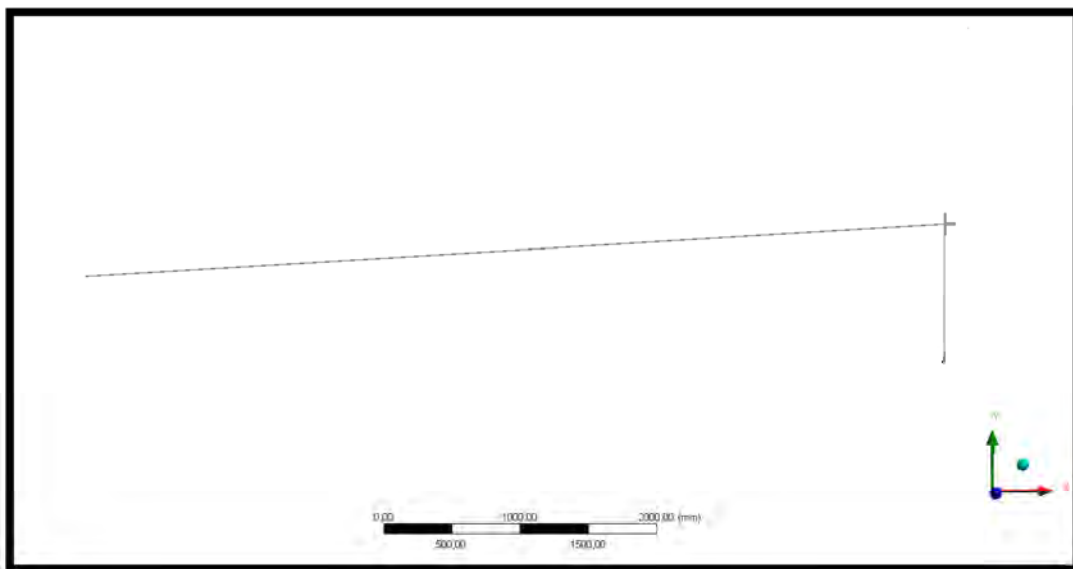


## 8 VÝPOČTOVÝ MODEL MEMBRÁNOVÉ STŘECHY

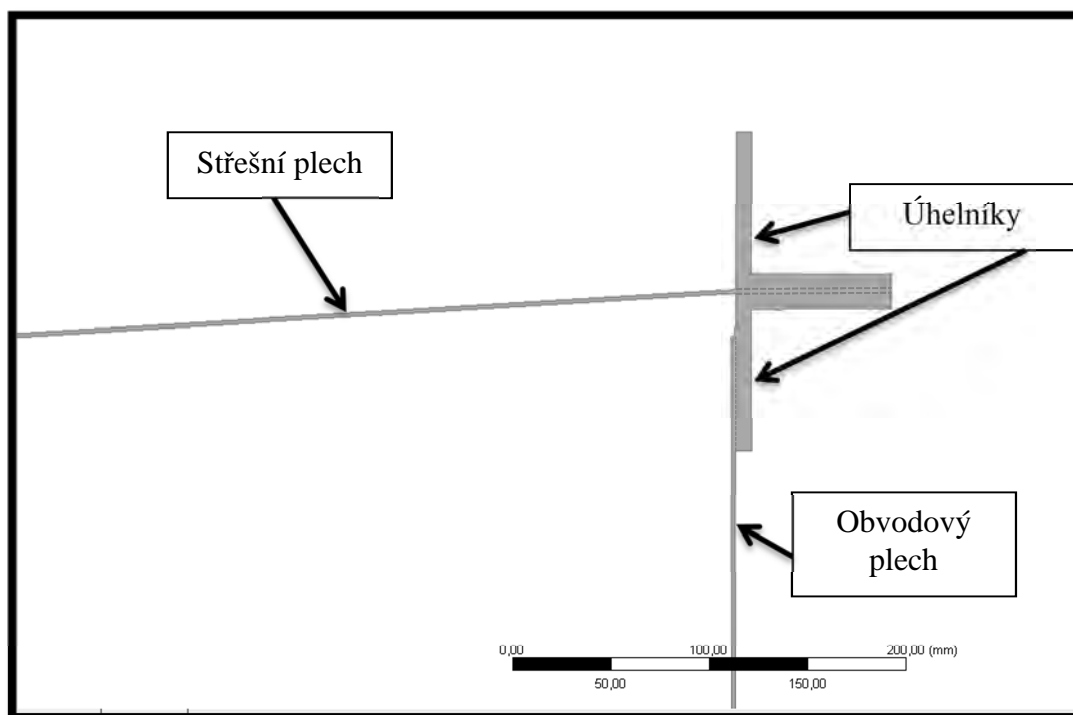
### 8.1 Model geometrie

Pro analýzu tohoto typu střechy byl použit model jak na 2D, tak na 3D úrovni. Jedná se o membránovou střechu, jež je podrobněji popsána v kapitole 4.8. Naše analyzovaná střecha má průměr pláště 12,3m, tloušťka střešních a plášťových plechů jsou 2mm a tloušťka úhelníků je 8mm, tyto rozměry jsou pouze orientační, získané ze základních pramenů. (Jedná se o tenkostěnnou nádobu.)

Pro vytvoření 2D modelu (obrázek 45, 46) bylo využito programu ANSYS s pomocí využití *axisymetrie*.

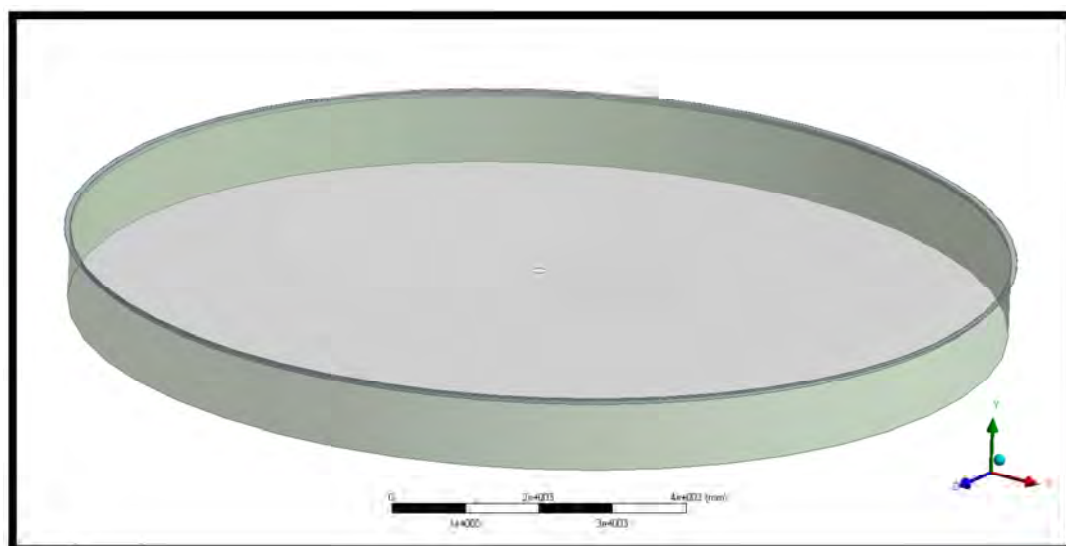


Obrázek 45 Axisymetrie (2D)



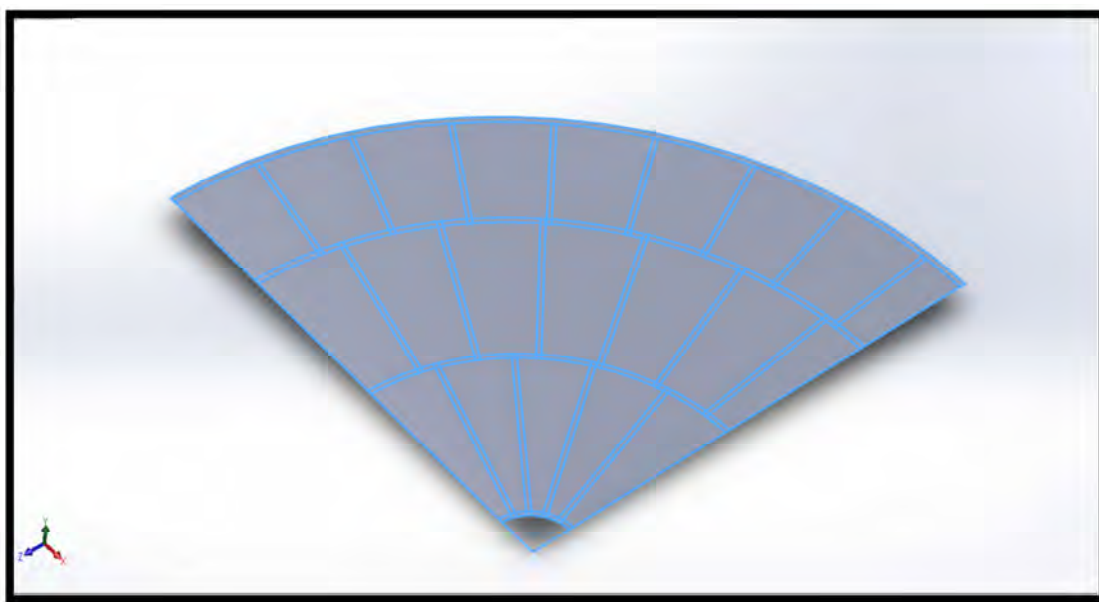
Obrázek 46 Detail axisymetrie

Druhý model (obrázek 47) této střechy (3D), byl taktéž vytvořen v MKP programu ANSYS, ovšem tento model byl vytvořen otáčením (Příkaz **Revolve**) obrysu hlavních částí střechy (střešní plechy, úhelníky a plášť) okolo své osy, čímž byl vytvořen plošného model střechy.



Obrázek 47 Orotovaný obrys

Třetí model byl vytvořen dle přibližné výkresové dokumentace. Nejdříve byl vytvořen plošný model (obrázek 48) pomocí programu **SOLIDWORKS**. Výhodou tohoto modelu je, že zde bylo zahrnuto i přeplátování střešních plechů, čímž se nám zvýší tuhost a měli bychom tak dojít k přesnějším výsledkům. Pro zjednodušení modelu byla využita symetrie, tudíž byl vytvořen pouze model 1/4 střechy.



Obrázek 48 1/4 střechy s přeplátovanými plechy

## 8.2 Model materiálu

Všechny prvky řešených soustav jsou modelovány homogenním lineárně pružným izotropním modelem materiálu (Hookovský model), jenž je určen Youngovým modulem  $E$  [MPa] a Poissonovým číslem  $\mu$  [-]. Konkrétněji zde byla volena ocel,  $Re=300 \text{ MPa}$ ,  $E=210 \text{ GPa}$ ,  $\mu=0,3$   $\rho=7850 \text{ kg/m}^3$ .

## 8.3 Model zatížení a vazeb

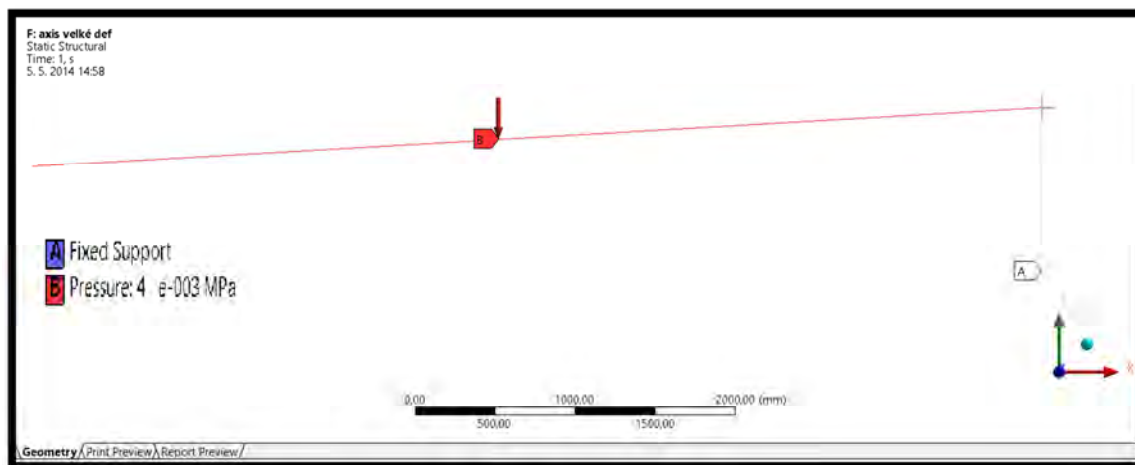
Jak lze vidět na obrázcích 49, 50, 51 pro vytvoření modelu zatížení a vazeb byly využity příkazy **Fixed Support** (zamezení posuvů a rotací ve všech směrech), **Displacement** (zamezení posuvu), **Standart Earth Gravity** (zatížení vlastní vahou) a **Pressure** (tlak). Příkazem **Fixed Support** bylo zamezeno posuvu na spodní hraně obvodového pláště do všech 3 směrů (x, y, z). Jelikož byla ve třetím modelu pro zjednodušení využita symetrie, příkazem **Displacement** bylo na hranách střešních plechů zamezeno posuvu do osy x, respektive y, jak je možno vidět na obrázku 51.

Příkaz **Pressure** slouží k určení zatížení sněhem dle normy **ČSN EN 1991-1-3** (Většina ČR se nachází ve sněhové oblasti 1-4)

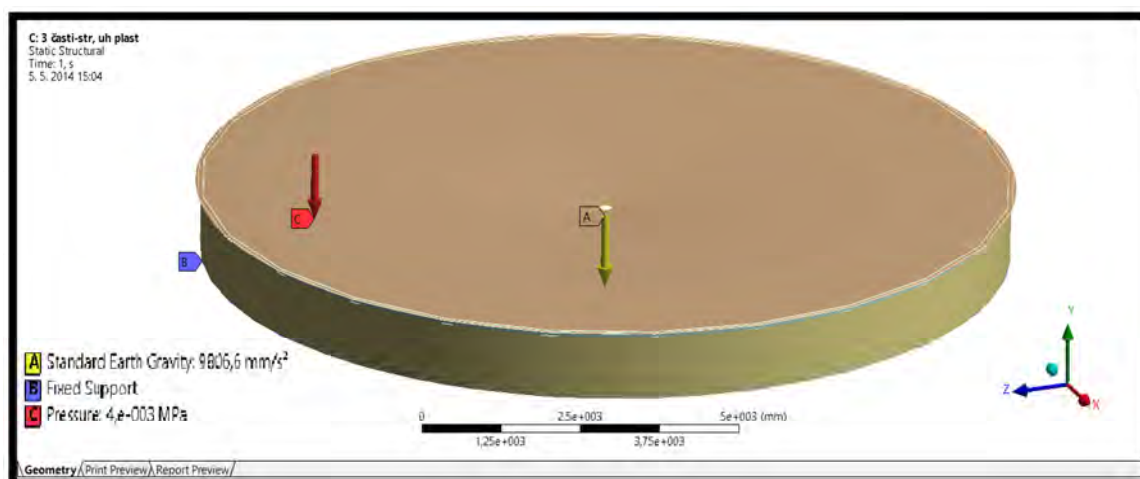


V prvním případě jsme brali zatížení sněhem ve městě Brno, které leží ve sněhové oblasti II, kde je charakteristická hodnota zatížení sněhem  $1\text{ kN/m}^2$ , což pro nás znamená tlak  **$0,001\text{ MPa}$** .

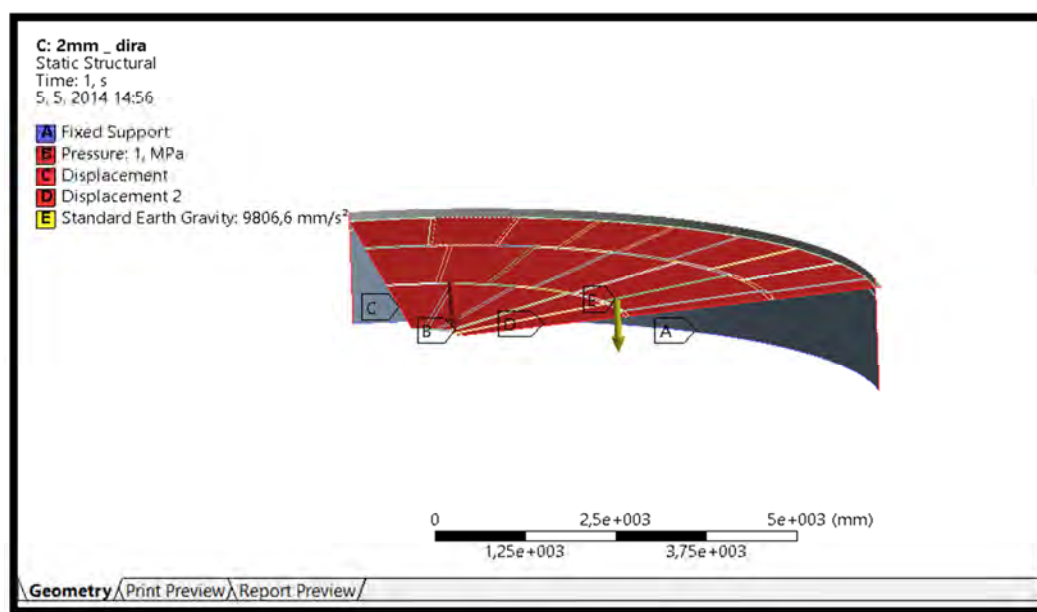
V druhém případě bylo uvažováno zatížení sněhem v Mostech u Jablunkova (sněhová oblast 7), kde je charakteristická hodnota zatížení sněhem mnohem větší, a to  $4\text{ kN/m}^2$  což je  **$0,004\text{ MPa}$** .



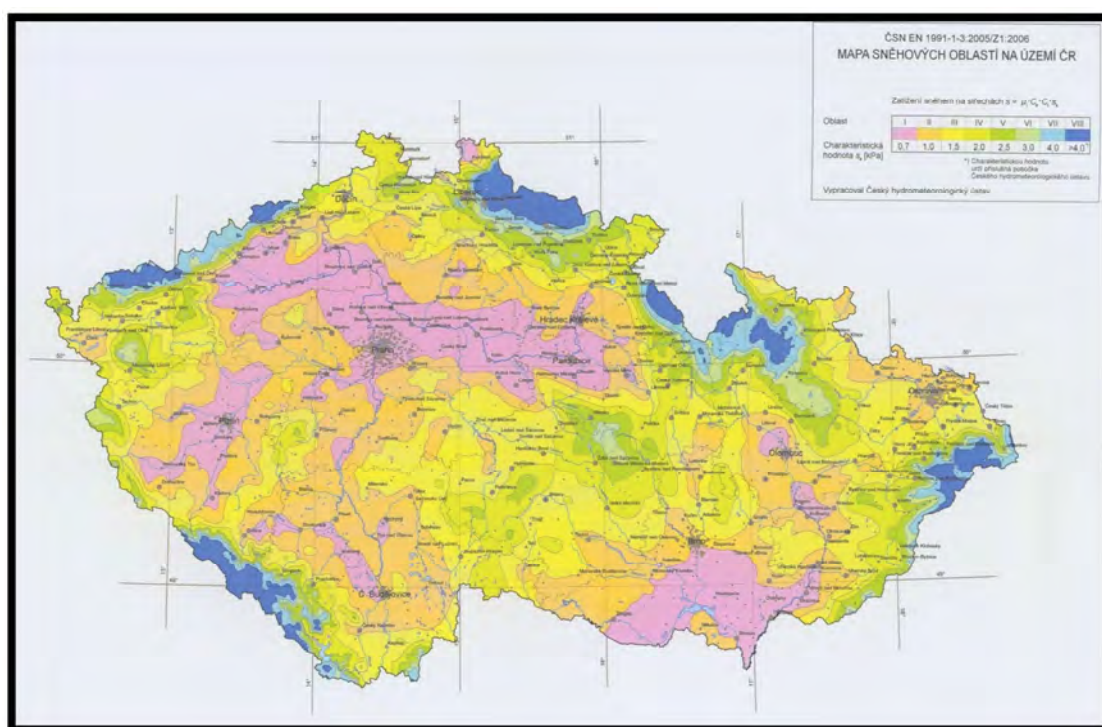
Obrázek 49 Axisymetrický model zatížení a vazeb



Obrázek 50 Model zatížení a vazem vytvořený orotováním



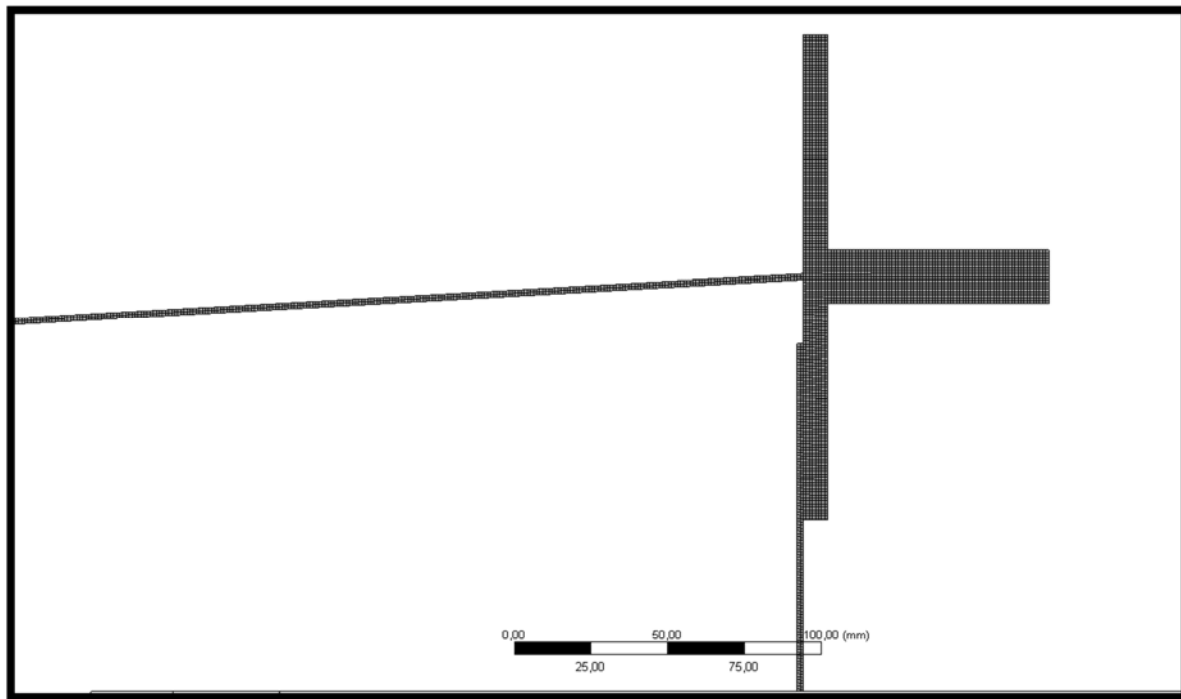
Obrázek 51 Model zatížení a vazeb se zabrnutím přeplátování



Obrázek 52 Mapa sněhových oblastí na území ČR [37]

#### 8.4 MKP model

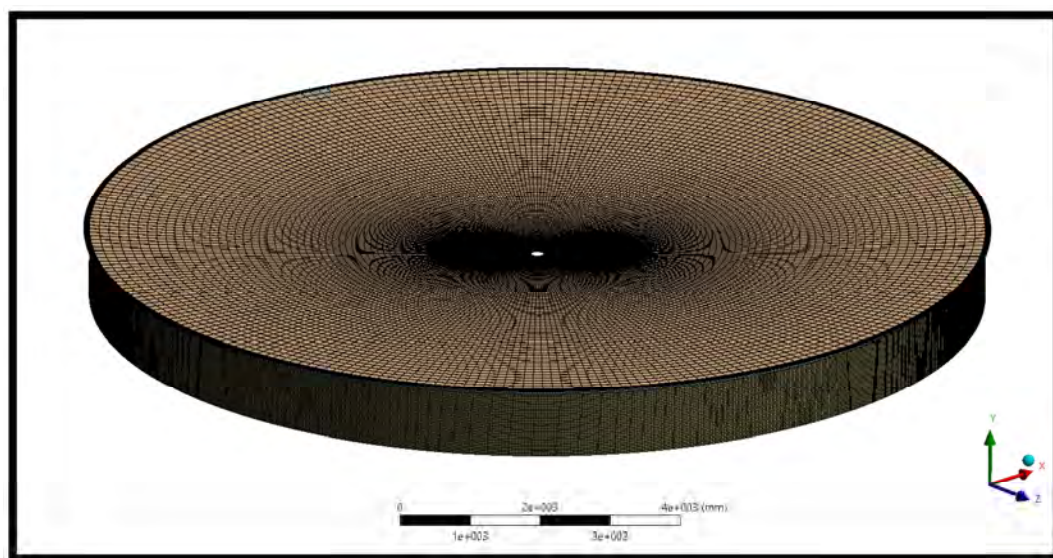
Pro vytvoření prvního MKP modelu (obrázek 53), kde je využita axisymetrie byla provedena diskretizace modelu kvadratickým rovinným prvkem **PLANE 183**. Pro tento prvek byla zvolena čtyřúhelníková strukturovaná síť o velikosti prvku 1mm.



Obrázek 53 Detail síť u axisymetrického modelu

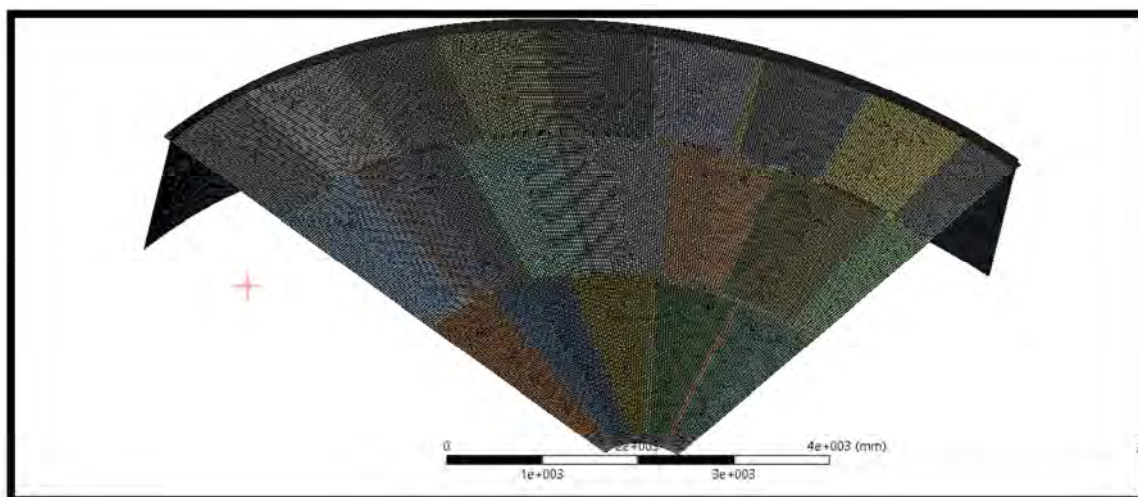
U druhého a třetího MKP modelu (obrázek 54, 55) byla provedena diskretizace modelů čtyř-uzlovým skořepinovým prvkem **SHELL 181**. Tento prvek je vhodný pro modelování tenkostěnných skořepinových prvků. Prvek tvoří čtyři uzly se šesti stupni volnosti v každém uzlu. Prvek **SHELL 181** je vhodné použít pro řešení lineárních přetvoření, velkých rotací a velkých nelineárních přetvoření.

U druhého modelu byla zvolena čtyřúhelníková strukturovaná síť o velikosti prvku 30mm.



**Obrázek 54** Sít' modelu vytvořeného orotováním

U třetího modelu byla zvolena velikost prvku sítě 30mm.



**Obrázek 55** Sít' u modelu s přeplátovanými plechy

**Tabulka 1:** Srovnání počtu použitých elementů pro různé metody tvorby modelu

-	Axisymetrický model	Model vytvořený orotováním	Přeplátovaný model (1/4)
Počet použitých elementů	17232	67272	60654



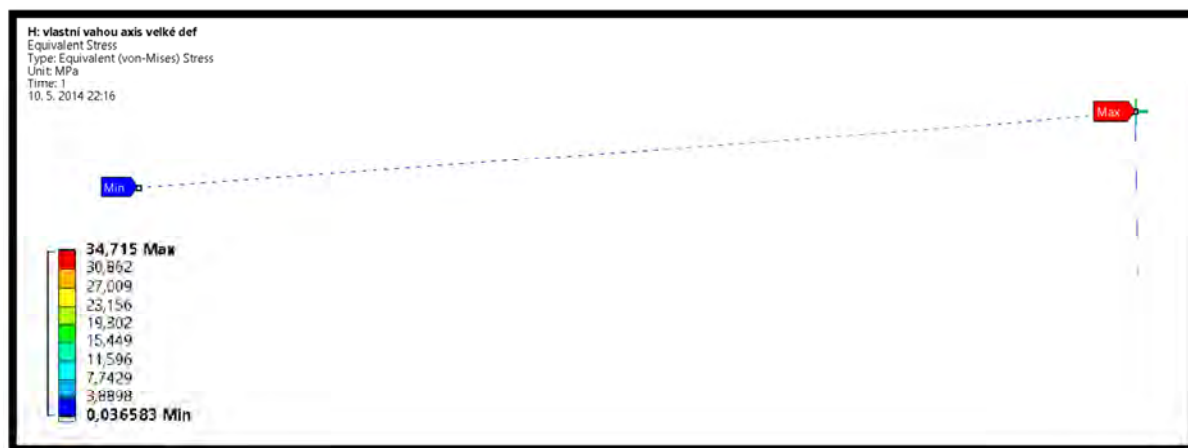


## 9 PREZENTACE A ANALÝZA VÝSLEDKŮ

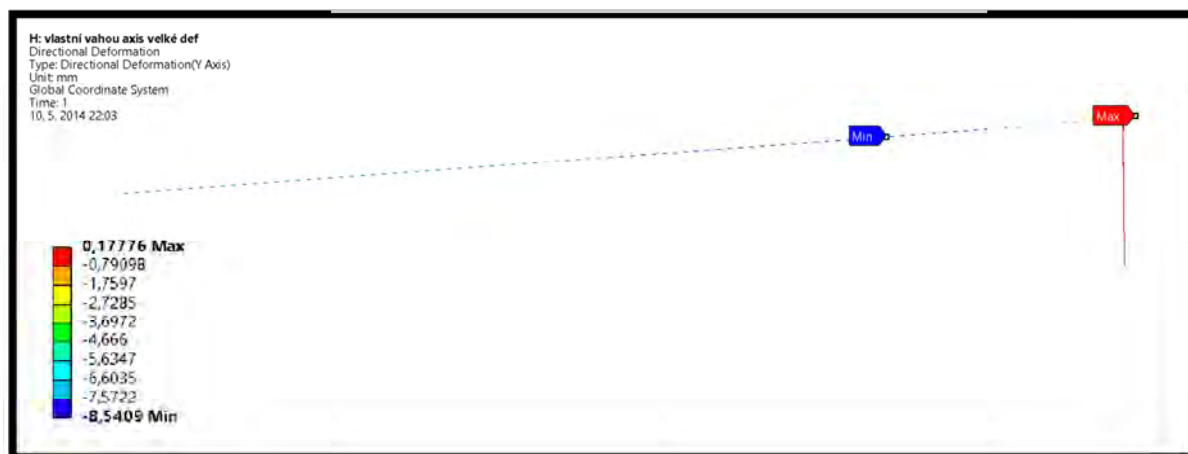
Analyzovanými veličinami jsou ekvivalentní (redukované) napětí podle podmínky HMH a posuvy ve směru zatěžování respektive ve směru gravitačního zrychlení.

### 9.1 Zatížení vlastní vahou:

Nejprve byla řešena varianta zatížení pouze vlastní vahou. Na obrázku 56 je vykresleno ekvivalentní napětí, maximální se nachází v singularitě. Na dalším obrázku 57 jsou vykresleny posuvy, maximální průhyb je v místě s označením Min, v tomto případě přibližně v jedné čtvrtině od stěny nádoby.



Obrázek 56 Napětí od zatížení pouze vlastní vahou u axisymetrické úlohy

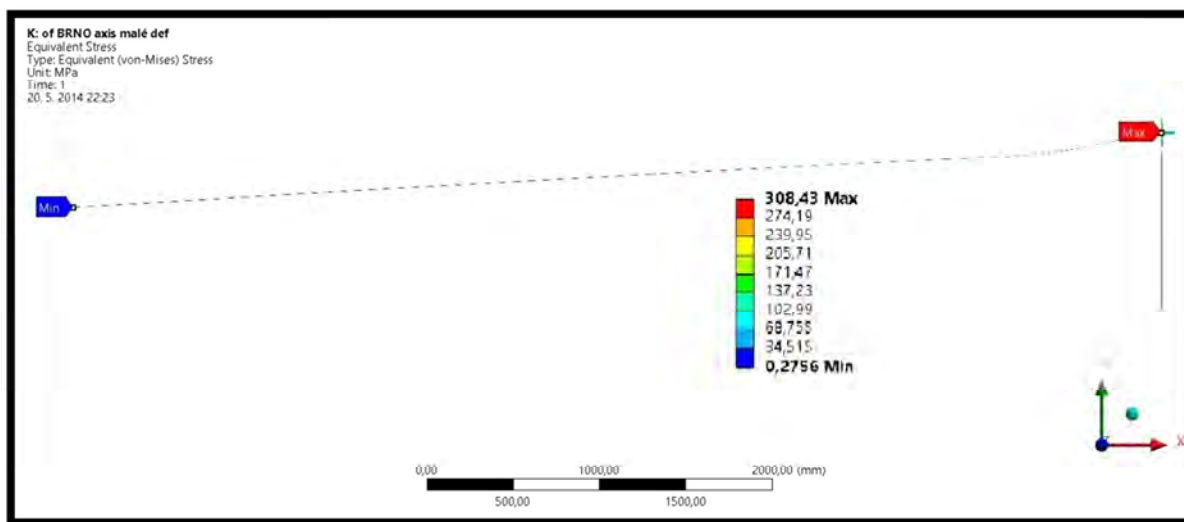


Obrázek 57 Posuv od zatížení pouze vlastní vahou u axisymetrické úlohy

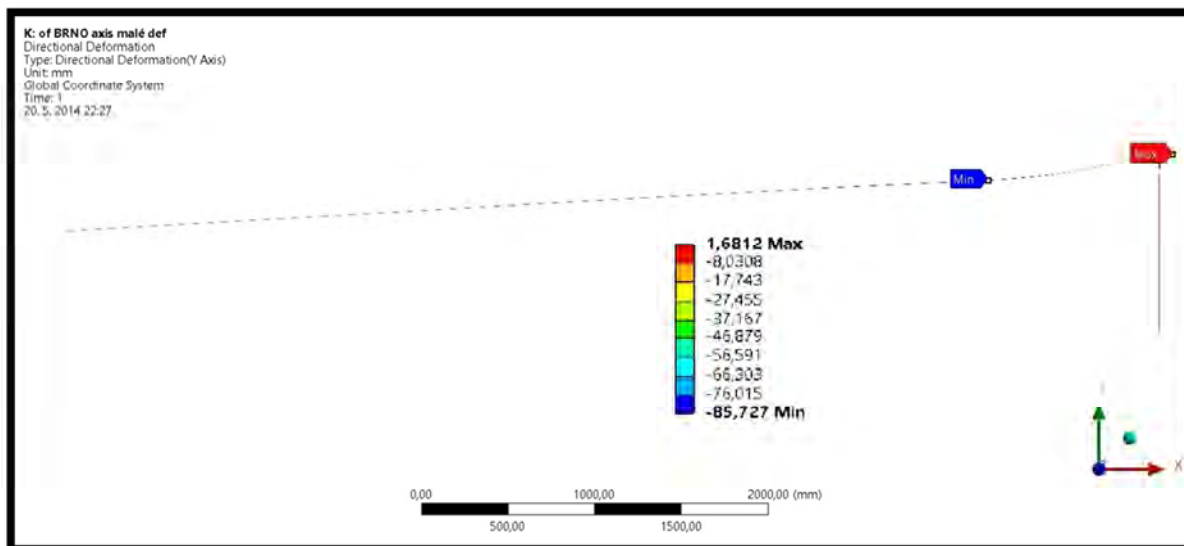
## 9.2 Zatížení sněhem ve městě Brno dle normy:

V první části byla provedena kontrola nastavení řešení. Na obrázcích 58 a 59 jsou vykresleny posuvy a napětí pro variantu řešení bez zahrnutí velkých deformací. Na obrázcích 60 a 61 je vykresleno řešení se zahrnutím velkých deformací. Tyto výsledky byly zapsány do tabulky 2. Dalo by se říci, že nelineární úlohy značně komplikují řešení a významně zvyšují operační složitost (čas).

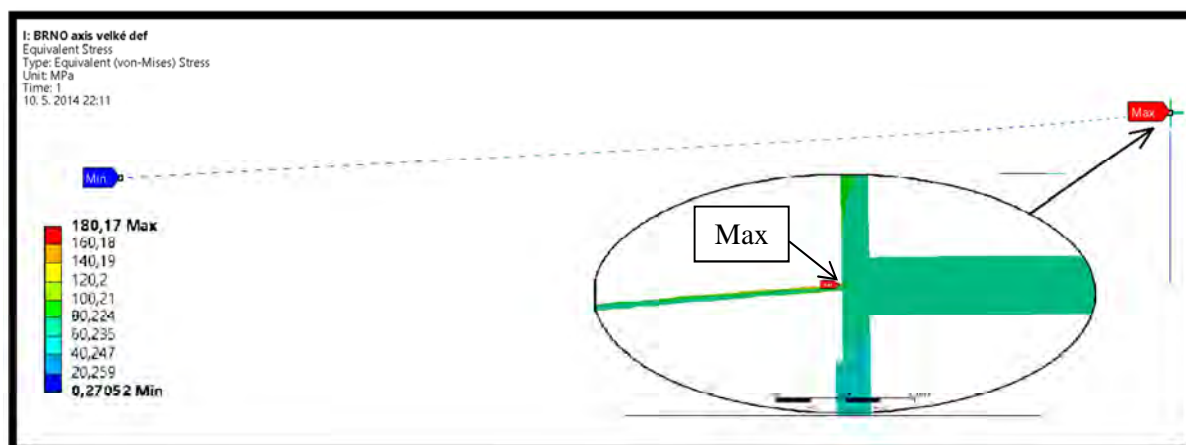
Je důležité pečlivě posoudit a zvážit, zda jsou nelinearity z hlediska řešeného problému podstatné, za předpokladu že nejsou, použijeme lineární model (malé deformace).



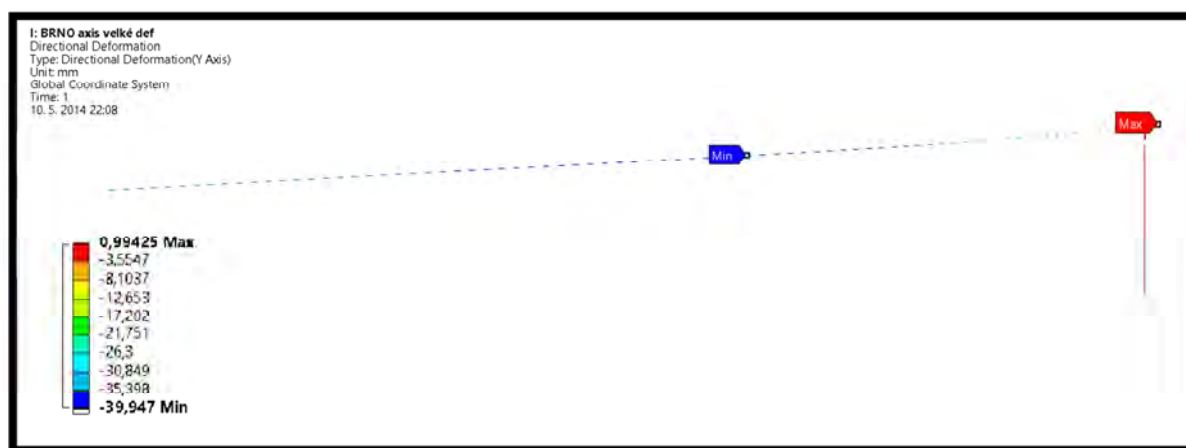
Obrázek 58 Napětí od zatížení sněhem u axisymetrického modelu (malé deformace)



Obrázek 59 Posuv od zatížení sněhem u axisymetrického modelu (malé deformace)



Obrázek 60 Napětí od zatížení sněhem u axisymetrického modelu (velké deformace)



Obrázek 61 Posuv od zatížení sněhem u axisymetrického modelu (velké deformace)

Tabulka 2: Srovnání výsledků pro malé a velké deformace

	Axisymetrický model	
	Malé deformace	Velké deformace
Ekvivalentní resp. redukované napětí <sup>2</sup> [Mpa]	308,43	180,17
Posuv <sup>3</sup> [mm]	85,72	39,94

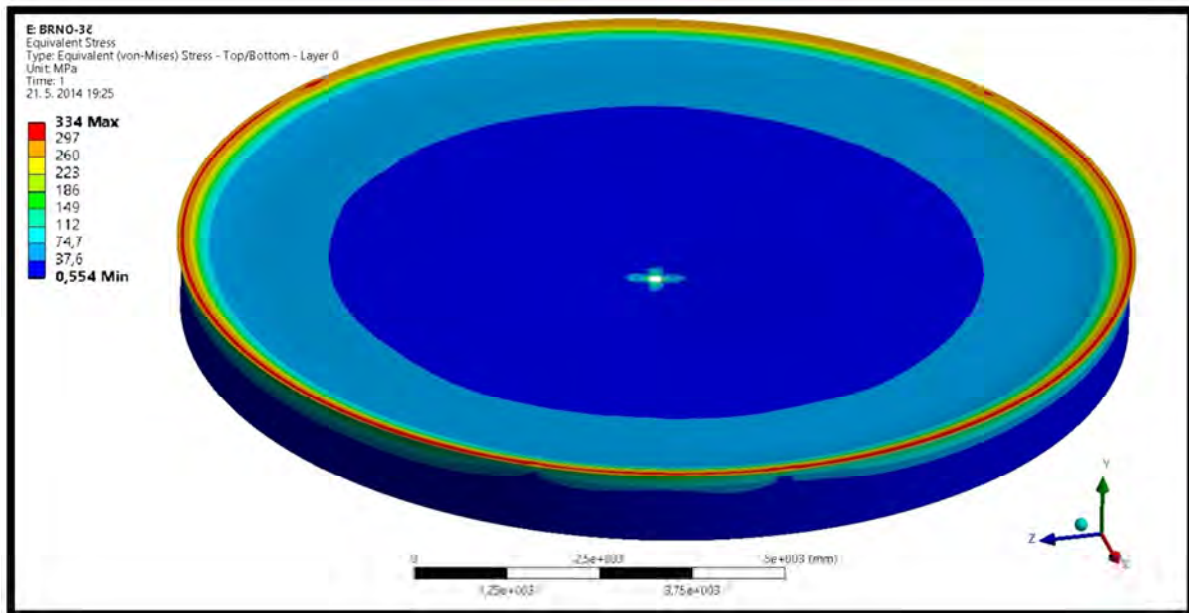
Je patrné, že řešení bez zahrnutí velkých deformací je podstatně vyšší cca o 42%, z toho vyplývá, že **je nutno použít modely s velkými deformacemi**. Pro nelineární úlohy obecně neplatí princip superpozice, numerické řešení je mnohem náročnější než u lineárních úloh a ne vždy zkonvergují.

Maximální průhyb pro zatížení vlastní vahou a sněhem ve sněhové oblasti II je v místě s označením min v tomto případě přibližně v jedné třetině od pláště nádrže.

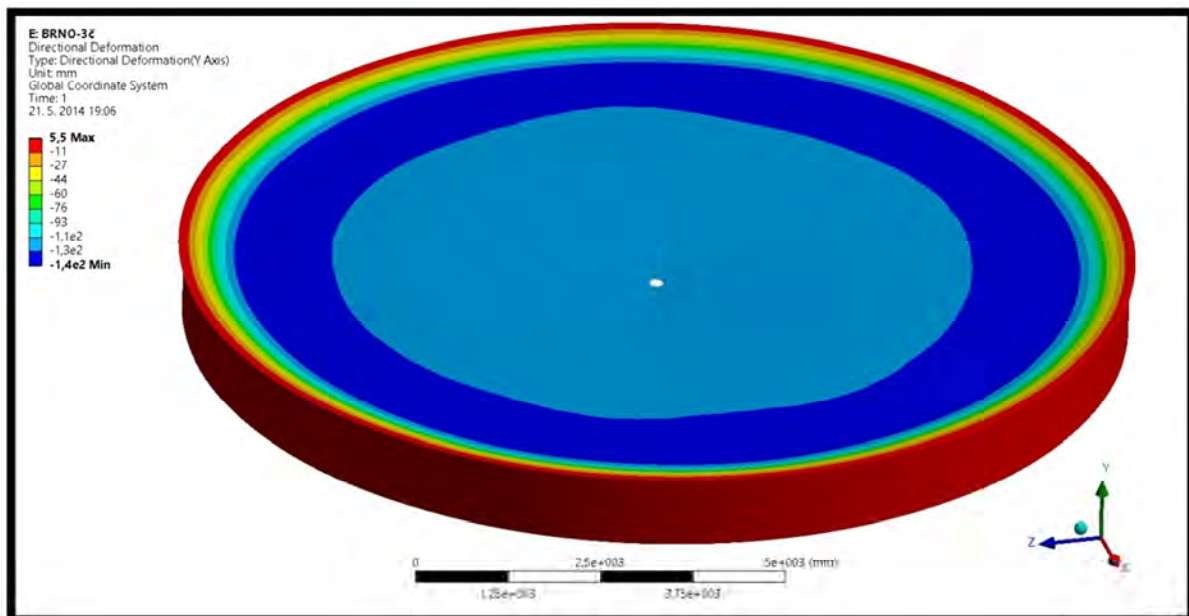
<sup>2</sup> Maximální hodnota

<sup>3</sup> Maximální hodnota v absolutní hodnotě

Na obrázku 62 a 63 lze vidět výsledky deformačně napětové analýzy modelu vytvořeného orotováním, ovšem tyto výsledky jsou pouze pro malé deformace, protože pro velké deformace řešení nezkonverovalo. Jelikož se jedná o výsledky s malými deformacemi, tyto výsledky nejsou správné.

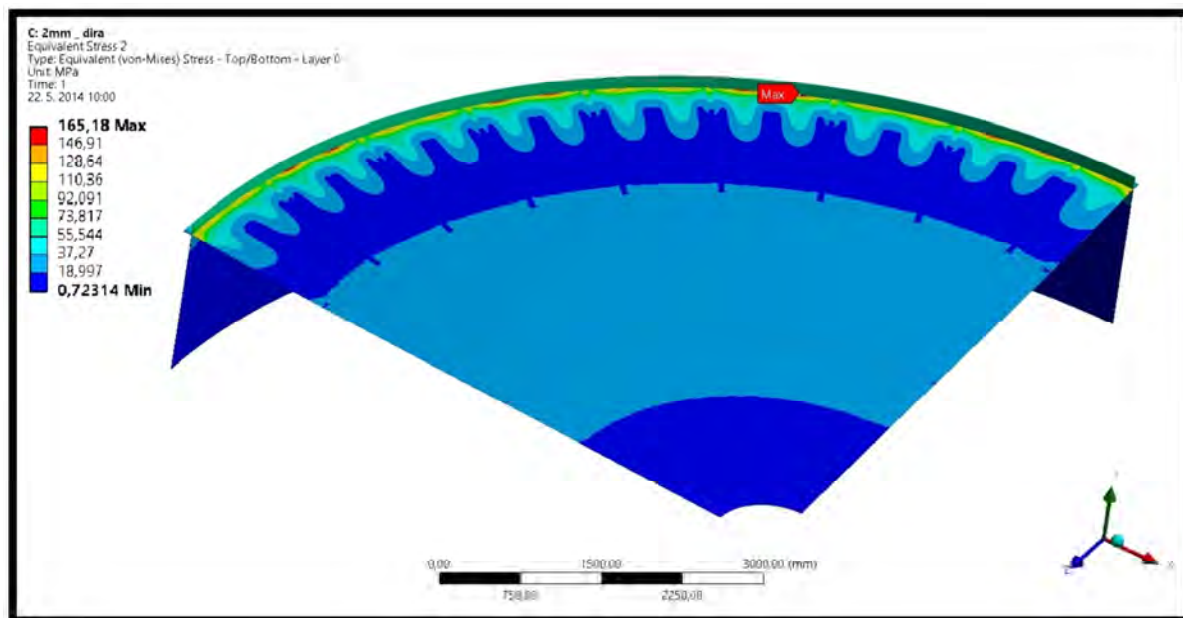


Obrázek 62 Napětí od zatížení sněhem u modelu vytvořeného orotováním

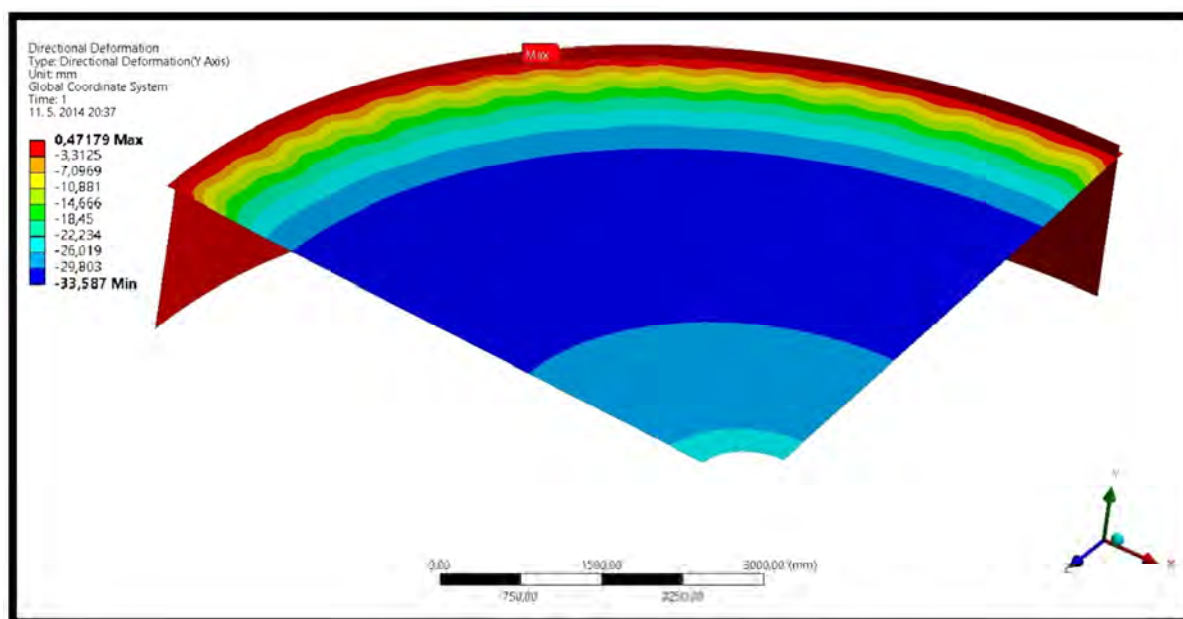


Obrázek 63 Posuv od zatížení sněhem u modelu vytvořeného orotováním

Na obrázcích 64 a 65 lze vidět výsledky přeplátovaného modelu. Výsledky analýz jsou podobné jako u axisymetrického modelu, ovšem napětí a posuvy jsou o něco nižší zřejmě z důvodu přeplátování (zvýšená tuhost soustavy).



Obrázek 64 Napětí od zatížení sněhem u přeplátovaného modelu

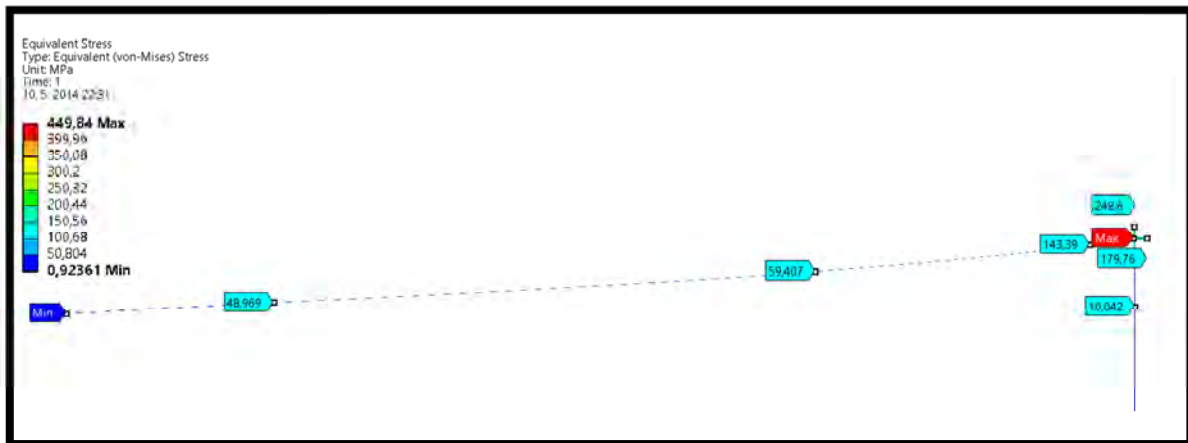


Obrázek 65 Posuv od zatížení sněhem u přeplátovaného modelu

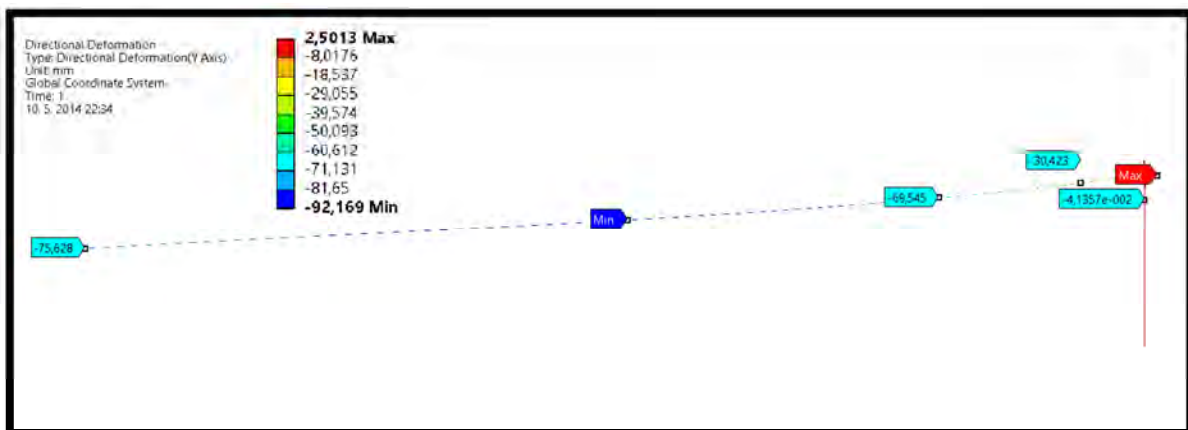


### 9.3 Zatížení sněhem ve městě Mosty u Jablunkova dle normy:

Na obrázcích 66 a 67 lze opět vidět výsledky deformačně napět'ové analýzy axisymetrického modelu, nyní ovšem pro zatížení sněhem v jiné sněhové oblasti. Pro tento případ je maximální průhyb v místě s označením min, přibližně v polovině.

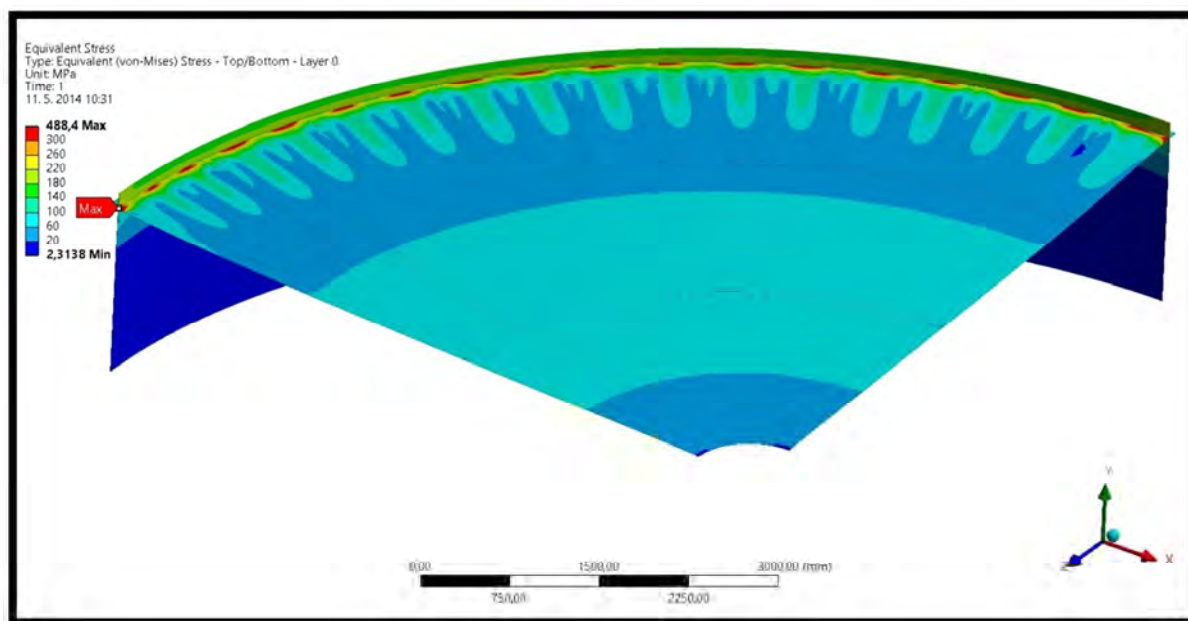


Obrázek 66 Napětí od zatížení sněhem u axisymetrického modelu (4KPa)

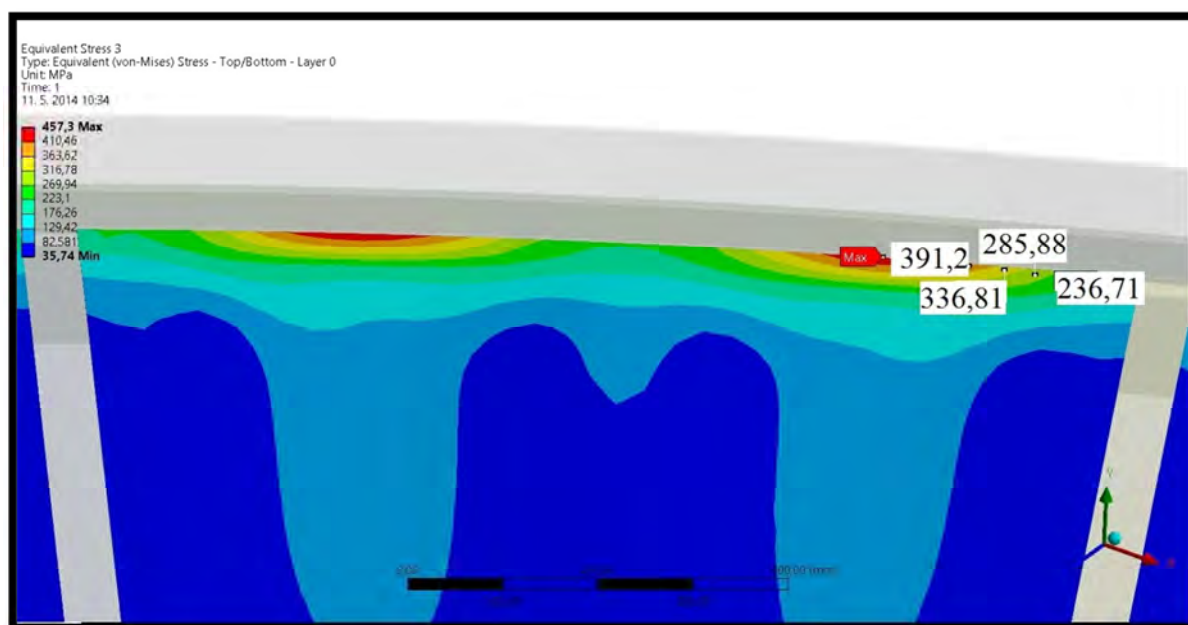


Obrázek 67 Posuv od zatížení sněhem u axisymetrického modelu (4KPa)

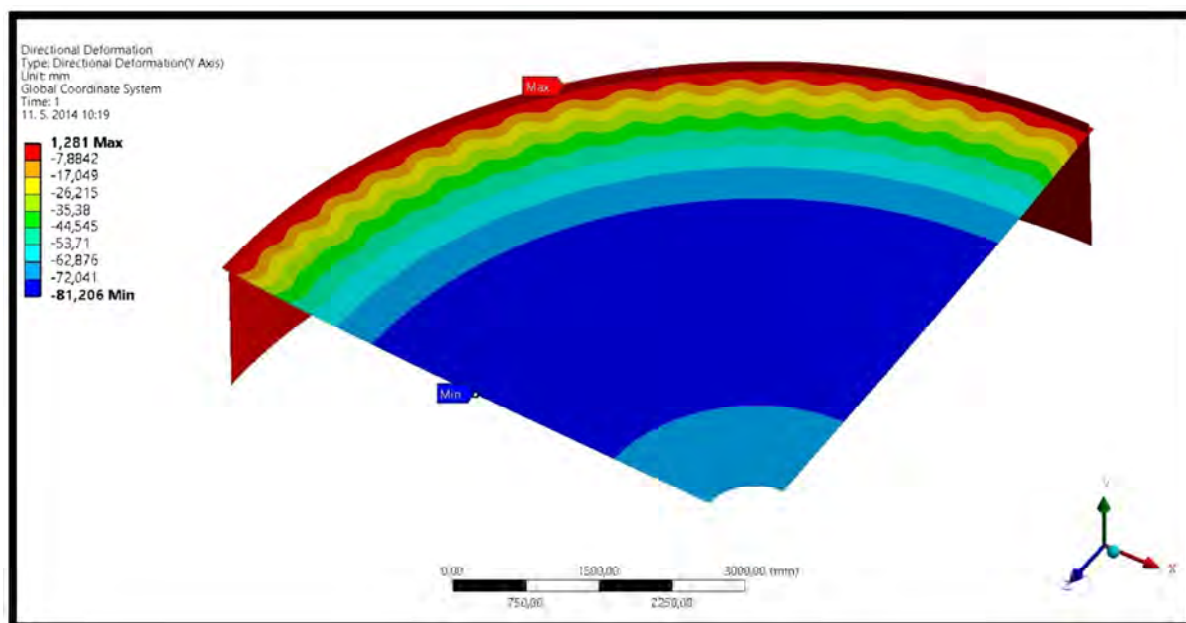
Z důvodu nekonvergence u modelu vytvořeného orotováním již nebyla prováděna napětově deformační analýza u tohoto modelu. Ovšem z obrázku 68, 69 a 70, lze vidět výsledky u přeplátovaného modelu, kde byla využita symetrie, ovšem nyní pro zatížení sněhem 4KPa. Výsledky jsou opět podobné jako u axisymetrického modelu.



Obrázek 68 Napětí od zatížení sněhem u přeplátovaného modelu (4Kpa)



Obrázek 69 Detail napětí od zatížení sněhem u přeplátovaného modelu (4Kpa)



Obrázek 70 Posuv od zatížení sněhem u přeplátovaného modelu (4Kpa)

Tabulka 3: Výsledky deformačně napětových analýz

-	Brno			Mosty u Jablunkova	
	Axisymetrický model	Model vytvořený otáčením (malé deformace)	Přeplátovaný model	Axisymetrický model	Přeplátovaný model
Nominální napětí <sup>4</sup> [Mpa]	180,17	334	165,15	449,84	457,4
Posuv <sup>5</sup> [mm]	39,94	5,5	33,58	92,16	81,2

Vybraná střecha je vyrobena z materiálu s mezí kluzu rovna 300 MPa, dle tabulky 3, je zřejmé, že dle pevnostních analýz by námi vybraná membránová střecha o průměru 12,3m, vyhověla na zatížení sněhem, ve sněhové oblasti II (v našem případě se jedná konkrétně o město Brno). Také je zřejmé, že výsledky napětí pro Mosty u Jablunkova (sněhová oblast 7), jsou větší, než je hodnota meze kluzu, z čehož lze soudit, že tato střecha s tloušťkou střešního plechu 2mm, není vhodná a bylo by nutno ji nějakým způsobem vyztužit, zvětšit tloušťku střešního plechu, nebo použít jiný typ střechy.

<sup>4</sup> Maximální hodnota

<sup>5</sup> Maximální hodnota v absolutní hodnotě

## 10 ZÁVĚR

Cílem této práce bylo provedení rešeršní studie zabývající se řešenou problematikou nádrží spolu s popisem jednotlivých prvků a montáže nádrží. Dále vytvoření modelu geometrie, výpočtového modelu a z těchto modelů provést řešení a analýzu výpočtového modelu a výsledků řešení. Všechny tyto cíle byly splněny.

Problematika šroubovaných ocelových nádrží je stará sice téměř sto let, avšak od svého počátku se princip těchto nádrží nijak významně nezměnil. To se však nedá říci o technologiích, které pomáhají tyto nádrže vyrábět a stavět, nebo jsou přímo její součástí. Každý výrobce se snaží „nezaspat dobu“ a je tedy jejich snahou podílet se na vývoji nejen nových povrchových materiálů, nebo vhodnějších oceli, ale i na výkonnějších strojích, které jsou součástí těchto nádrží (čerpadla, dmychadla, provzdušňovače apod.). Další důležitý pokrok byl zaznamenán ve snížení v tloušťky plechů nádrží, to je dáno nejen lepšími materiály těchto plechů, ale i díky dokonalejším výpočetním možnostem, které nám dovolují přesněji analyzovat konkrétní díly těchto nádrží. Nejrozšířenější metodou se stala metoda konečných prvků, která umožňuje rychlé a přesné výsledky.

V poslední části této práce bylo provedeno výpočtové řešení deformace a napětí pomocí metody konečných prvků. Z deformačně napěťové analýzy vyplynulo, že je velmi důležité vždy dobře zvážit výběr vhodného nastavení řešiče metody a MKP modelu. V závislosti na těchto modelech se odvíjí operační složitost i náročnost výpočtu, v poměru na počtu použitých prvků. V této práci byly řešeny různé varianty modelů, nejjednodušší axisymetrický model (2D), dále orotovaný model, a čtvrtinový přeplátovaný model s využitím symetrie. Z našich výsledků deformačně napěťové analýzy plyne, že střecha nádrže o průměru pláště 12,3m vyhoví na zatížení sněhem ve sněhových oblastech II.





## 11 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] History [online]. [cit. 2014-03-26]. Dostupný z WWW:  
< <http://www.cstindustries.com/history/> >.
- [2] Silo [online]. [cit. 2014-03-26]. Dostupný z WWW:  
< <http://en.wikipedia.org/wiki/Silo> >.
- [3] CST [online]. [cit. 2014-03-26]. Dostupný z WWW:  
< <http://www.omerastore.com/company/> >.
- [4] OMERA STORE [online]. [cit. 2014-03-26]. Dostupný z WWW:  
< <http://www.cstindustries.com/> >.
- [5] PERMASTORE [online]. [cit. 2014-03-26]. Dostupný z WWW:  
< <http://www.permastore.com/> >.
- [6] Franklin Hodge Industries Limited [online]. [cit. 2014-03-26]. Dostupný z WWW:  
< <http://www.franklinhodge.com/> >.
- [7] VÍTKOVICE POWER ENGINEERING a.s [online]. [cit. 2014-03-26]. Dostupný z WWW: < <http://www.vitkovicepower.cz/> >.
- [8] Kohimex, spol. s r.o. [online]. [cit. 2014-03-26]. Dostupný z WWW:  
< <http://www.kohimex.cz/> >.
- [9] Betonová sila [online]. [cit. 2014-03-26]. Dostupný z WWW:  
< <http://www.wolfssystem.cz/Zelezobetonove-nadrze/Sila> >.
- [10] Svařovaná nádrž [online]. [cit. 2014-03-26]. Dostupný z WWW:  
< [http://www.ptadelconst.com.au/images/shell\\_tank\\_atw\\_welding\\_007.jpg](http://www.ptadelconst.com.au/images/shell_tank_atw_welding_007.jpg) >.
- [11] Nýtovaný spoj [online]. [cit. 2014-03-26]. Dostupný z WWW:  
< <http://fr.depositphotos.com/1875060/stock-photo-Old-metal-tank-with-rivets.html> >.
- [12] Online ČSN normy [online]. [cit. 2014-03-26]. Dostupný z WWW:  
< <https://csnonline.unmz.cz/> >.
- [13] FM approved [online]. [cit. 2014-03-26]. Dostupný z WWW:  
< <http://www.fmglobal.com/> >.
- [14] National fire protection association [online]. [cit. 2014-03-26]. Dostupný z WWW:  
< <http://www.nfpa.org/about-nfpa> >.
- [15] Vertrauen durch Sicherheit [online]. [cit. 2014-03-26]. Dostupný z WWW:  
< <http://www.zkratky.cz/VdS/13262> >.
- [16] American Water Works Association [online]. [cit. 2014-03-26]. Dostupný z WWW: < <http://www.awwa.org/about-us.aspx> >.
- [17] American Petroleum Institute [online]. [cit. 2014-03-26]. Dostupný z WWW:  
< <http://www.enggcylopedia.com/2011/09/api-standards-tanks/> >.

- [18] Systém managementu kvality [online]. [cit. 2014-03-26]. Dostupný z WWW: < <http://www.eurocert.cz/certifikace/cz/> >.
- [19] Sila na kukuřici [online]. [cit. 2014-03-26]. Dostupný z WWW: < <http://www.kohimex.cz/produkty/sila-na-kukurici-technicky-popis> >.
- [20] Bioplynové stanice [online]. [cit. 2014-03-26]. Dostupný z WWW: < <http://www.vitkovicepower.cz/11/cs/node/236/> >.
- [21] Schéma bioplynové stanice [online]. [cit. 2014-03-26]. Dostupný z WWW: < <http://www.stepanovsko.cz/stepanovske-kauzy/biplynova-stanice-v-m-huzove> >.
- [22] Bioplynová stanice v Hůžově [online]. [cit. 2014-03-26]. Dostupný z WWW: < <http://www.stepanovsko.cz/stepanovske-kauzy/biplynova-stanice-v-m-huzove> >.
- [23] Kejda [online]. [cit. 2014-03-26]. Dostupný z WWW: < [http://web2.mendelu.cz/af\\_221\\_multitext/vyziva\\_rostlin/html/hnojiva/kejda.htm/](http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/html/hnojiva/kejda.htm/) >.
- [24] Čistírny odpadních vod [online]. [cit. 2014-03-26]. Dostupný z WWW: < <http://www.vitkovicepower.cz/default/file/download/id/12346/inline/1> >.
- [25] ČOV v Heřmanicích [online]. [cit. 2014-03-26]. Dostupný z WWW: < <http://www.ovak.cz/index.php?lang=1&structure=12> >.
- [26] Laminát ve stavebnictví [online]. [cit. 2014-03-26]. Dostupný z WWW: < <http://tvstav.cz/clanek/2326-vyuziti-skelnych-laminatu-ve-stavebnictv> >.
- [27] Laminátová střecha [online]. [cit. 2014-03-26]. Dostupný z WWW: < <http://tvstav.cz/clanek/2326-vyuziti-skelnych-laminatu-ve-stavebnictv> >.
- [28] Systém skladování bioplynu [online]. [cit. 2014-03-26]. Dostupný z WWW: < [http://www.bdtech.cz/systemy\\_skladovani\\_bioplynu.html](http://www.bdtech.cz/systemy_skladovani_bioplynu.html) >.
- [29] Havárie v Olmlenici [online]. [cit. 2014-03-26]. Dostupný z WWW: < [http://zpravy.idnes.cz/vez-s-miliony-litru-hnojiva-pohrbila-pri-padu-dva-delniky-pmi-/krimi.aspx?c=A081030\\_150836\\_krimi\\_cen](http://zpravy.idnes.cz/vez-s-miliony-litru-hnojiva-pohrbila-pri-padu-dva-delniky-pmi-/krimi.aspx?c=A081030_150836_krimi_cen) >.
- [30] Tragedie v Ommlenici [online]. [cit. 2014-03-26]. Dostupný z WWW: < <http://www.pyrokontrol.cz/soudnickypouceniztragedievommlenicich/> >.
- [31] KŘIVÝ, V. a R ČAJKA. DESIGN AND RELIABILITY ASSESSMENT OF ROOF STRUCTURAL ELEMENTS USING THE NEW DIGITAL GROUND SNOW LOAD MAP OF THE CZECH REPUBLIC. In: FUIS, Ed.: Vladimír. Engineering mechanics 2011: international conference, May 9 - 12, 2011, Svratka, Czech Republic ; IM 2011 ; book of full texts. 1. ed. Prague: Inst. of Thermodynamics, Acad. of Sciences of the Czech Republic, 2011, s. 335-337. ISBN 9788087012338ISSN 1805-8256. Dostupné z: [http://engmech.cz/2011/im/doc/EM2011\\_proceedings.pdf](http://engmech.cz/2011/im/doc/EM2011_proceedings.pdf)
- [32] ANSYS [online]. [cit. 2014-03-26]. Dostupný z WWW: < <http://www.ansys.com> >.
- [33] INVENTOR [online]. [cit. 2014-03-26]. Dostupný z WWW: < <http://www.autodesk.com/products/autodesk-inventor-family/overview> >.
- [34] AUTOCAD [online]. [cit. 2014-03-26]. Dostupný z WWW: < <http://www.autodesk.com/products/autodesk-autocad/overview> >.

- 
- [35] SOLIDWORKS [online]. [cit. 2014-03-26]. Dostupný z WWW: < <http://www.solidworks.cz/> >.
- [36] Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky [online]. [cit. 2014-03-26]. Dostupný z WWW: < <http://www.umat.fme.vutbr.cz/cz/> >.
- [37] Mapa sněhových oblastí na území ČR [online]. [cit. 2014-03-26]. Dostupný z WWW: < [http://www.snihnastrese.cz/new\\_window\\_img.php?src=img/mapa-snehove-oblasti-cr-velka-nova.jpg](http://www.snihnastrese.cz/new_window_img.php?src=img/mapa-snehove-oblasti-cr-velka-nova.jpg) >.



## 12 SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ A TABULEK

### 12.1 Seznam obrázků

Obrázek 1 Starověké řecké vázy [2] .....	2
Obrázek 2 Betonové silo [9] .....	4
Obrázek 3 Svařovaná nádrž [10] .....	5
Obrázek 4 Ukázka nýtovaného spoje [11] .....	5
Obrázek 5 Silo .....	9
Obrázek 6 Nádrže na cement a popílek .....	10
Obrázek 7 Sprinklerová nádrž s izolací v barvě haly .....	11
Obrázek 8 Různé možnosti barevného provedení plechů Sprinklerové nádrže .....	12
Obrázek 9 Dno sprinklerové nádrže s folii .....	13
Obrázek 10 Rozestavěná sprinklerová atypická čtvercová nádrž.....	13
Obrázek 11 Schéma bioplynové stanice [21] .....	14
Obrázek 12 Bioplynová stanice v Hůžově [22] .....	15
Obrázek 13 Nádrž na kejdu s kuželovou PVC střechou .....	16
Obrázek 14 Nádrž na kejdu s polokulatou střechou .....	16
Obrázek 15 Biologická trojnádrž [24] .....	17
Obrázek 16 ČOV v Heřmanicích [25] .....	18
Obrázek 17 jednotlivé plášťové plechy .....	21
Obrázek 18 Nedokončený plášť.....	21
Obrázek 19 Screen šroubového spoje .....	22
Obrázek 20 Dvouřadý řídký spoj bez krytek .....	23
Obrázek 21 Dvouřadý spoj s krytkami .....	23
Obrázek 22 Křížový spoj .....	24
Obrázek 23 Otevřený revizní otvor .....	25
Obrázek 24 revizní otvor s víkem.....	25
Obrázek 25 Vodorovné obvodové výztuhy .....	26
Obrázek 26 Možné provedení svislých výztuh.....	26
Obrázek 27 Vynechaná drážka v ocelových výztuhách .....	27
Obrázek 28 Nezabetonovaný startovací segment .....	27
Obrázek 29 Kotevní úhelník .....	28
Obrázek 30 Nádrž na kejdu bez střechy .....	29
Obrázek 31 Kuželová střecha .....	30
Obrázek 32 Kuželová střecha s izolací .....	30
Obrázek 33 Nosníky trapézové střechys výstuhami .....	31
Obrázek 34 Trapézový plech položený na nosníku .....	31
Obrázek 35 Sprinkler s membránovou střechou .....	32
Obrázek 36 Laminátová střecha [27] .....	33
Obrázek 37 Kuželový tvar PVC střechy .....	34
Obrázek 38 PVC střecha ve tvaru polokoule.....	34
Obrázek 39 Šroubové zvedáky .....	35
Obrázek 40 „Papuč“ .....	36
Obrázek 41 Převodovka.....	36
Obrázek 42 Přetmelené vnitřní hrany nádrže .....	37
Obrázek 43 Zřícená věž s hnojivem[29] .....	39
Obrázek 44 Zaklembované bortící se silo.....	40
Obrázek 45 Axisymetrie (2D).....	43



Obrázek 46 Detail axisymetrie.....	44
Obrázek 47 Orotovaný obrys .....	44
Obrázek 48 ¼ střechy s přeplátovanými plechy .....	45
Obrázek 49 Axisymetrický model zatížení a vazeb .....	46
Obrázek 50 Model zatížení a vazem vytvořený orotováním .....	46
Obrázek 51 Model zatížení a vazeb se zabrnutím přeplátování.....	47
Obrázek 52 Mapa sněhových oblastí na území ČR [37].....	47
Obrázek 53 Detail síť u axisymetrického modelu .....	48
Obrázek 54 Síť modelu vytvořeného orotováním.....	49
Obrázek 55 Síť u modelu s přeplátovanými plechy.....	49
Obrázek 56 Napětí od zatížení pouze vlastní vahou u axisymetrické úlohy .....	51
Obrázek 57 Posuv od zatížení pouze vlastní vahou u axisymetrické úlohy .....	51
Obrázek 58 Napětí od zatížení sněhem u axisymetrického modelu (malé deformace).....	52
Obrázek 59 Posuv od zatížení sněhem u axisymetrického modelu (malé deformace).....	52
Obrázek 60 Napětí od zatížení sněhem u axisymetrického modelu (velké deformace).....	53
Obrázek 61 Posuv od zatížení sněhem u axisymetrického modelu (velké deformace).....	53
Obrázek 62 Napětí od zatížení sněhem u modelu vytvořeného orotováním .....	54
Obrázek 63 Posuv od zatížení sněhem u modelu vytvořeného orotováním .....	54
Obrázek 64 Napětí od zatížení sněhem u přeplátovaného modelu .....	55
Obrázek 65 Posuv od zatížení sněhem u přeplátovaného modelu .....	55
Obrázek 66 Napětí od zatížení sněhem u axisymetrického modelu (4KPa).....	56
Obrázek 67 Posuv od zatížení sněhem u axisymetrického modelu (4KPa).....	56
Obrázek 68 Napětí od zatížení sněhem u přeplátovaného modelu (4KPa).....	57
Obrázek 69 Detail napětí od zatížení sněhem u přeplátovaného modelu (4KPa).....	57
Obrázek 70 Posuv od zatížení sněhem u přeplátovaného modelu (4KPa).....	58

**Autor obrázků** a fotek bez uvedeného zdroje: *vlastní (Jiří Konečný, nádrže firmy Kohimex)*

## 12.2 Seznam tabulek

Tabulka 1: Srovnání počtu použitých elementů pro různé metody tvorby modelu .....	49
Tabulka 2: Srovnání výsledků pro malé a velké deformace .....	53
Tabulka 3: Výsledky deformačně napěťových analýz.....	58

